

**LITERARISCHE UND KASUISTISCHE
BETRACHTUNGEN ÜBER DEN WERT DER
AUTOLOGEN SPONGIOSAPLASTIK
NACH MATTI**

Volker Glawar

1974

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. Georg HEBERER

LITERARISCHE UND KASUISTISCHE BETRACHTUNGEN
ÜBER DEN WERT DER AUTOLOGEN SPONGIOSAPLASTIK
NACH MATTI

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilian-Universität zu München

vorgelegt von

Volker GLAWAR

aus Oberhausen

München 1974

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

1. Berichterstatter: Priv. - Doz. Dr. Bedacht

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Heberer

Dekan: Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 5.11.1974



INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	S.1
DEFINITION UND STELLUNG DER AUTOLOGEN SPONGIOSA- PLASTIK IM RAHMEN DER KNOCHENTRANSPLANTATIONEN	S.3
ZUR GESCHICHTE DER KNOCHENTRANSPLANTATION	S.5
ANATOMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN DER KNOCHENTRANSPLANTATION	S.25
DIE KNOCHENBRUCHHEILUNG	S.28
1. sog. primäre Knochenbruchheilung	
2. sekundäre Knochenbruchheilung	
EINHEILUNG DES AUTOLOGEN KNOCHENTRANSPLANTATES	S.29
HISTOLOGISCHE VORGÄNGE	
RÖNTGENOLOGISCHE VORGÄNGE NACH TRANSPLANTATION	
KLINISCHE EINHEILUNG DER IMPLANTierten SPONGIOSA	
INDIKATIONEN FÜR DIE AUTOLOGE SPONGIOSAPLASTIK	S.33
1. KNOCHENHÖHLEN	
a) septische Knochenhöhlen	
b) aseptische Knochenhöhlen	
2. PSEUDARTHROSEN UND DEFEKTPSEUDARTHROSEN	
3. ZUR PRIMÄRVERSORGUNG VON FRAKTUREN	
ZUR OPERATIONSTECHNIK	S.37
KASUISTIK	S.39
DISKUSSION	S.49
ZUSAMMENFASSUNG	S.56
LITERATURVERZEICHNIS	S.57
LEBENS LAUF	S.74
BILDANHANG	S.75

EINLEITUNG

Die praktische Chirurgie sieht sich in vielen Fällen vor das Problem gestellt, die lokal nicht ausreichende mechanische Festigkeit eines Knochens mit geeigneten Mitteln wiederherzustellen, oder Knochenkontinuitätsdefekte und Knochenhöhlen möglichst schonend, schnell und sicher zu beseitigen.

Der Verlust der ursprünglichen Knochenfestigkeit und die Bildung von Knochenhöhlen können dabei verschiedene Ursachen haben.

Zu den häufigsten dieser Ursachen gehören die gestörte Frakturheilung mit Ausbildung von Pseudarthrosen oder Defektpseudarthrosen; aber auch septische und nicht septische Prozesse, wie die chronische Osteomyelitis und gutartige Knochentumoren, können durch Zerstörung der normalen Knochenstruktur zu weitgehender oder völliger Einbuße an mechanischer Stabilität und zu Knochenhöhlen führen.

Unter den verschiedenen, in der Vergangenheit vorgeschlagenen und auch heute noch zur Diskussion stehenden Methoden, die zur operativen Behandlung der eben umgrenzten Knochenerkrankungen oder deren Folgezuständen in Erwägung gezogen werden, hat heute die autologe Spongiosaplastik nach MATTI einen festen Platz.

Dies vor allem, weil nur durch sie ein Material mit eigener osteogenetischer Potenz an den Ort der lokal nicht ausreichenden Osteogenese gebracht werden kann.

Herr Oberarzt Priv.-Doz. Dr. R. BEDACHT hat mir die Aufgabe gestellt, anhand der schon fast unübersehbaren Literatur zu diesem Gebiet sowie der Demonstration einiger ausgewählter Fälle eine Betrachtung über die theoretischen Grundlagen der autologen Spongiosoplastik, ihre Indikation und den praktischen Wert dieser Methode im Rahmen der Knochentransplantationen anzustellen.

DEFINITION UND STELLUNG DER AUTOLOGEN SPONGIOSAPLASTIK IM RAHMEN DER KNOCHENTRANSPLANTATIONEN

Die autologe Spongiosaplastik ist ihrem Wesen nach eine freie Transplantation, wobei wir unter freier Transplantation eine Verpflanzung lebenden Gewebes an eine andere Stelle desselben oder eines anderen Organismus unter Durchtrennung sämtlicher Verbindungen zum ursprünglichen Mutterboden des Transplantates verstehen.

Man unterscheidet je nach der genetischen Verwandtschaft von Spender und Empfänger zueinander drei Arten von Transplantationen:

1. Autologe Transplantation:

Spender und Empfänger sind identisch. Die Überpflanzung des Gewebes erfolgt von einer Körperregion in eine andere des gleichen Individuums. Um diese Art der Transplantation handelt es sich bei der autologen Spongiosaplastik. Dabei wird spongiöser Knochen vom Beckenkamm, dem Trochanter maior oder dem Tibiakopf, in ein knöchernes Lager einer anderen Körpergegend eingepflanzt. Um autologe Transplantation handelt es sich u.a. auch bei der subperiostalen Knochenanlagerung eines Knochenspanes nach PHEMISTER.

2. Homologe (homöologe, homoiologe) Transplantation:

Spender und Empfänger gehören in diesem Fall zur gleichen Spezies. Als Beispiel sei die Übertragung einer Niere von einem Menschen auf den anderen genannt. In der Knochenchirurgie wurde diese Art der Transplantation

früher als sog. homologer Span nach LEXER verwendet, in neuerer Zeit meist als chemisch oder durch Kälteeinwirkung konservierter Knochen aus der "Knochenbank". (Streng genommen sind konservierte, abgestorbene Gewebe nicht als Transplantate, sondern als Implantate zu bezeichnen; dies wird in der Literatur häufig nicht beachtet.)

3. Heterologe Transplantation:

In diesem Fall erfolgt die Überpflanzung von einem Individuum der einen Art auf ein anderes einer anderen Art. Als Beispiel sei die Überpflanzung eines Kalbsknochens auf den Menschen erwähnt.

Außer diesen Arten der Transplantation lassen sich noch die isologe Transplantation, wobei Spender und Empfänger genetisch identisch (eineiige Zwillinge) sind, abgrenzen, außerdem die isotope und die heterotope Transplantation. Bei der isotypen Transplantation sind die Gewebearten der Entnahmestelle und des Lagers identisch, bei der heterotypen voneinander verschieden.
(n. PSCHYREMBEL 1969; LARGIADER 1966)

ZUR GESCHICHTE DER KNOCHENTRANSPLANTATION

Der Gedanke, Knochendefekte durch freie Verpflanzung von Knochengewebe zur Ausheilung zu bringen, ist schon seit Jahrhunderten immer wieder Anlaß zu praktischen Versuchen gewesen. Andererseits war bei solchen Versuchen, noch dazu in der vorantiseptischen Ära, ein Erfolg nur unter ganz seltenen, besonders glücklichen Umständen zu erhoffen. (LEXER 1924)

Über den ersten Fall einer gelungenen heterologen Transplantation von Knochen berichtet JOB-A-MEEKREM 1862:

"Ein adeliger Russe hatte im Jahre 1670 infolge eines Säbelhiebs einen großen Schädeldefekt davongetragen. Ein Chirurg legte in denselben ein entsprechendes, einem Hunde entnommenes Schädelstück ein, das einheilte. Als aber die Diener der Kirche davon Kunde erhielten, erklärten sie ein derartiges Heilverfahren für höchst unstatthaft, und um nicht als Ketzer zu gelten, mußte sich der Edelmann das profane Knochenstück wieder ausschneiden lassen." (z.n. LEXER 1924)

(W. AXHAUSEN (1962) vermutet allerdings, daß es sich bei diesem Bericht um die Bemäntelung der Abstoßung des infizierten Transplantates handelt und verweist auf ähnliche Beispiele in medizingeschichtlichen Überlieferungen.)

Heterologe Transplantationen wurden auch im 19. Jahrhundert, zum Teil mit Erfolg, durchgeführt. So verpflanzte MAC EWEN (1874) ein Stück vom Schädelknochen des Hundes in einen menschlichen Schädeldefekt. JAKSCH (1889) und RICARD (1891) berichteten ebenfalls über gelungene heterologe Transplantationen. All diese Erfolge wurden nach LEXER (1924) zu unrecht als echte Einheilungen gedeutet. Die eiterlose Einheilung der

Transplantate sei in all diesen Fällen auf die subperiostale Lagerung der Transplantate zurückzuführen gewesen, wobei nach Resorption des Heterotransplantates das Periost des Lagers den Ersatz des Defektes übernommen hätte.

OLLIER (1867) bemühte sich als erster, die praktischen Versuche der Transplantation von Knochen durch theoretische Untersuchungen auf eine sichere Grundlage zu stellen. Er definierte nicht nur den grundlegenden Unterschied zwischen autologer, heterologer und homologer Transplantation, sondern begann auch mit den ersten systematischen Experimenten.

OLLIER konnte dabei nur auf wenige experimentelle Ergebnisse von MERREM (1809), VON WALTHER (1821) und HEINE (1836) zurückgreifen, die subperiostal entnommene Knochentrepanationsscheiben an Hunden wieder zur Einheilung gebracht hatten; sonst lagen nur sehr widersprüchliche Angaben über experimentelle Befunde vor. (n. LEXER 1924)

Seit 1858 hatte OLLIER an seinen Experimenten gearbeitet, als er 1867 seine Ergebnisse in einer Monographie veröffentlichte. Er war zu folgenden Resultatengelangt:

1. Lebender, artgleicher, periostgedeckter Knochen kann nach freier Transplantation zumindest in Teilen überleben. Es treten aber immer, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß, auch regressive Veränderungen auf.
2. Das Überleben des transplantierten Knochens ist in ganz besonderem Maße an die Anwesenheit des Transplantatperiostes gebunden, welches die Ernährung des Knochens vermittelt.

3. Beweis für das Überleben des Knochens ist sein Dickenwachstum.
4. Je jünger das Knochengewebe ist, desto besser heilt es ein.
5. Heterologer Knochen stirbt kurze Zeit nach der Transplantation ab und verfällt der Resorption, oder er wird bindegewebig umkapselt. Die Ursache dafür liegt in der Artspezifität von Gewebssäften und Gefäßen. Nur unter günstigen Bedingungen kann heterologer Knochen durch vom Lager her neugebildetes Knochengewebe ersetzt werden.
6. Praktische Folgerung aus den erwähnten Feststellungen ist, daß dauernder knöcherner Ersatz verlorengegangenen Knochengewebes ausschließlich mit artgleichem, lebendem, periostgedecktem Knochen zu erfolgen hat.

WOLFF (1863), JAKIMOWITSCH (1881), SCHMITT (1892), LAURENT (1893), und später DAVID (1896/1898) bestätigten auf Grund eigener histologischer Befunde die OLLIER'sche Lehre. SCHMITT hält jedoch schon damals die Autoplastik für das einzig sichere Verfahren.

Auf den Erkenntnissen OLLIER's aufbauend, wagte sich die praktische Chirurgie nun mit größerer Zuversicht an die Transplantation von Knochen heran und hatte gute Erfolge aufzuweisen. SEYDEL (1889) konnte einen Schädeldefekt mit periostgedecktem Tibiaspan erfolgreich ausheilen, von BRAMANN (1894) ersetzte einen größeren Humerusdefekt durch periostgedeckten Tibiaspan. KLAPP (1900) berichtet über ein hervorragendes Ergebnis mit periostgedecktem autoplastischem Knochen bei einem von BIER operierten Patienten.

Trotz dieser glänzenden Erfolge wurden Versuche der Transplantation von autoplastischem und homoplastischem Material danach zunächst nicht mehr gemacht wegen der Veröffentlichungen BARTH's, "welche deutlich einen hemmenden Einfluß auf die praktische Chirurgie erkennen lassen." (z.n. LEXER 1924)

BARTH hatte 1893 auf Grund eigener Experimente, welche zum größten Teil in der histologischen Untersuchung replantierter S_chädelreparationsstücke bestanden, folgende Ergebnisse formuliert:

1. Transplantierter Knochen stirbt in jedem Fall nach der Transplantation ab, gleichgültig, ob er autologer, homologer oder heterologer Herkunft ist.
2. Das abgestorbene Knochenstück stellt im Lager einen aseptischen, porösen Fremdkörper dar, welcher im Laufe der Zeit resorbiert und durch körpereigenes Knochengewebe ersetzt wird. Die Knochenneubildung geht dabei am Schädel von Periost und Mark, bei Extremitätenknochen vor allem vom Mark aus. Dabei handelt es sich nicht um einen einfachen Appositionsprozess von neuem Knochen an den abgestorbenen, sondern um einen "schleichenden Ersatz" toten Knochens durch lebenden.
3. Das Periost des Transplantates hat keinen Einfluß auf das Schicksal des transplantierten Knochens.
4. Jedes knöchene Transplantationsmaterial, ganz gleich, ob tot oder lebendig, auto-, homo- oder heterolog, ist gleichwertig.

Der Reiz, den ein Knochenstück in einem Knochendefekt ausübt, ist der eines Fremdkörpers von besonders günstiger Konsistenz für den Aufbau neuen Knochens, dessen provisorisches Gerüst er darstellt.

5. Die histologische Untersuchung ist die einzige Möglichkeit zur Beurteilung der Vitalität eines Knochens, eine makroskopische Beurteilung ist nicht brauchbar.
6. Implantation von Knochen hat nur dann einen Sinn, wenn die Implantation in ein aseptisches, ossifikationsfähiges Lager erfolgt. Steht ein solches zur Verfügung, so wird das angestrebte Ziel mit totem Material ebenso erreicht wie mit lebendem.

Die Befunde BARTH's wurden sehr bald durch MÖLLER (1895), PASCALE (1897), VALAN (1898) und FISCHOEDER (1899) bestätigt. Allerdings benutzten auch diese Autoren für ihre Versuche nur replantierte, subperiostal entnommene Schädeltrepanationsscheiben junger Tiere, was später von AXHAUSEN (1962) als Grund für die Diskrepanzen der älteren und der jüngeren Meinungen angesehen wurde.

MARCHAND (1899) wiederholte die Versuche seines Schülers BARTH und ließ außerdem SALTYSKOW (1900) eine nochmalige Kontrolle der Ergebnisse BARTH's vornehmen. Beide kamen zu dem Schluß, daß transplantierte Knochen jeglicher Herkunft abstirbt, und daß dies auch für Mark und Periost des Knochens gilt.

Nur bei dem Sonderfall der Transplantation autologen Knochens sei eine vom Transplantatperiost ausgehende Osteogenese im Sinne OLLIER's einzuräumen. Diese Beobachtung war schon von RADZIMOWSKI (1881) und BONOME (1885) nicht nur für diesen Sonderfall herausgestellt worden, doch waren ihre Ergebnisse unbeachtet geblieben.

Die große Unsicherheit über die theoretischen Grundlagen hatte bald auch ihre Auswirkungen auf die Klinik. " Klinik und Experiment stimmten nicht überein, und so mußte der klinische Erfolg gegenüber der experimentellen Feststellung nur als ein zufälliger erscheinen." (z.n. LEXER 1924, S.5)

So war es nicht verwunderlich, daß nach dem Bekanntwerden der Ergebnisse BARTH's Versuche eines auto- oder homoplastischen Knochenersatzes nicht mehr gewagt wurden. Erst die Befunde AXHAUSEN's (1908) konnten wieder eine neue Grundlage für die chirurgische Anwendung der Knochentransplantation schaffen. Nach zahlreichen Tierexperimenten und histologischen Untersuchungen war AXHAUSEN zu einer Art von Synthesender Meinungen OLLIER's und BARTH's gekommen. Diese läßt sich in folgenden Punkten zusammenfassen;

1. Frisch entnommener, transplantierte Knochen stirbt, wie BARTH behauptet hat, vollständig ab. Die Erhaltung der Vitalität des Markes ist bei günstigen Bedingungen teilweise möglich, praktisch aber unbedeutend.
2. Der Ersatz des implantierten toten Knochengewebes geschieht durch Resorption und folgende Apposition; Quelle des Ersatzes ist das mitüberpflanzte Periost, welches lebend und produktionsfähig geblieben ist,

in geringem Umfang auch das transplantierte Knochenmark und (bei gutem Lager) auch das Lager.

3. Macerierter Knochen wird nur aus dem Lager substituiert.
4. Der Unterschied zwischen autologer und homologer Transplantation ist nicht prinzipieller, sondern gradueller Natur, insofern, als bei der Autoplastik größere Transplantatanteile überleben. Dadurch erfolgt hier der Knochenneubau und -Umbau schneller.
5. Periostgedeckter, frischer Knochen ist bei Röhrenknochendefekten bester Ersatz.

Von dieser theoretischen Vorarbeit und seinen Erfahrungen in der Knochenchirurgie ausgehend formulierte LEXER (1908) für die klinische Anwendung von Knochentransplantaten die folgenden Grundsätze:

Bestes Transplantationsmaterial ist die frische, periostgedeckte Autoplastik. Nicht ganz so hochwertig ist die frische, periostgedeckte Homplastik. Erst in weitem Abstand folgt periostloser, lebender Knochen, wobei autologer Knochen besser als homologer Knochen einheilt. Weniger wertvolle Transplantationsmaterialien sind der periostgedeckte, lebende, heterologe Knochen, der gekochte Leichenknochen und der macerierte Knochen.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist nach LEXER das Lager, in welches das Transplantat eingebettet wird. Auch dieses ist für die Auswahl des geeigneten Transplantationsmaterials mitentscheidend. LEXER unterscheidet:

1. Das ersatzstarke Lager, d.h. das subperiostale Lager an durchgehenden oder wandständigen Defekten. Hier ist wegen der großen osteogenen Potenz des Periostes fast jedes Knochenmaterial mit Erfolg zu verwenden. Die Autoplastik heilt hier im Normalfall reizlos ein, während die Homoplastik unter Umständen eitert und abgestoßen wird.
2. Das ersatzschwache Lager, d.h. periostlose Knochendefekte. In diesem Fall ist die periostgedeckte Autoplastik bester Ersatz, unter günstigen Bedingungen eventuell auch die frische Homoplastik bei sehr breiten Auffrischungsenden.
3. Das ersatzunfähige Lager, d.h. das Lager ohne eigene Knochenbildung, wie das Weichteillager. Hier kann nur die autoplastische, periostgedeckte Kortikalisplatte mit Markendost auf der anderen Seite zum Erfolg führen. Rein spongiöse Transplantate sind im Weichteillager wegen Resorption nicht brauchbar.

Neben den verschiedenen Qualitäten des Lagers unterschied LEXER zwischen lebender und toter Einheilung von Transplantaten. Für die lebende Einheilung sind rasche und gute Ernährung des Transplantates vom Lager aus erforderlich. Bei der toten Einheilung wird das Transplantat bindegewebig umkapselt. Dies ist bei Homo- und Heterotransplantaten nach LEXER wahrscheinlich durch "biochemische Differenzen" (BORST 1913) im Sinne einer Immunreaktion bedingt. Röntgenologische Kriterien für die tote Einheilung sind das Bestehenbleiben der scharfen Konturen des überpflanzten Transplantates und gleichbleibende Knochendichte.

Die Befunde AXHAUSEN's und die Feststellungen LEXER's über die Anwendbarkeit der verschiedenen Formen der Transplantationen für die jeweilige Indikation fanden bald Bestätigung durch viele Autoren. TOMITA (1908), SALTYSKOW (1909), FRANGENHEIM (1909), MAYER und WEHNER (1914), DE JONG und V.D. KEMP (1924) erhoben experimentell die gleichen Befunde. Auch Berichte über klinische Erfolge erschienen bald in großer Zahl. (LÄWEN 1909, LEXER 1908, 1913, 1916, 1917, LOBENHOFFER 1910, STIEDA 1910, 1911, BAUM 1911, V. HABERER 1911) LÄWEN, AXHAUSEN und STIEDA konnten sogar histologische Befunde am Menschen erheben. Trotz der guten Einstufung homoplastischen Knochens durch LEXER häuften sich jedoch bald Berichte, welche der Autoplastik den eindeutigen Vorrang einräumten und auf Mißergebnisse mit der Homoplastik aufmerksam machten. (HEIDENHAIN 1908, TILMAN 1911, STUCKEY 1912, BORELIUS 1914, BRÜNING 1919) Die Transplantation homologen Knochens wurde deshalb in der folgenden Zeit zunehmend seltener vorgenommen.

BARTH (1908) mußte nach all diesen neuen Ergebnissen und nach Kenntnis der histologischen Befunde auch am Menschen seinen früheren Standpunkt aufgeben und schloß sich weitgehend der Auffassung AXHAUSEN's an. Demgegenüber lehnten BASCHKIRZEW und PETROW (1912) diese neue Auffassung ab, da sie nach über dreijährigen theoretischen Untersuchungen an erwachsenen Kaninchen durchaus abweichende Feststellungen gemacht hatten. Die Verfasser beklagten sich vielmehr darüber, daß OLLIER von den meisten Autoren offensichtlich öfter zitiert als gelesen worden sei.

So hätte OLLIER darauf hingewiesen, daß eine Osteogenese aus Perioststücken nach Überpflanzung nur bei jungen Tieren zu beobachten sei; auch diese sei nur von temporärer Bedeutung. Die von OLLIER beschriebenen regelmäßig auftretenden regressiven Veränderungen im überpflanzten Knochengewebe seien bei der Beurteilung der OLLIER'schen Lehre unbeachtet geblieben. Die Diskrepanz zwischen der Meinung OLLIER's und den späteren Untersuchern bestehe also weniger in den unterschiedlichen Befunden als vielmehr in Unterschieden der Interpretation. Die eigenen Ergebnisse faßten BASCHKIRZEW und PETROW folgendermaßen zusammen:

- "1. Bei freier Knochentransplantation geht die große Mehrzahl der Knochenkörperchen bald zugrunde; einige von ihnen, welche lebenskräftiger sind, oder in besonders günstige Ernährungsverhältnisse gelangen, können sehr lange am Leben bleiben, bis sie endlich dem natürlichen Erschöpfungstode erliegen.
2. Das Mitüberpflanzen von Periost und Knochenmark ist für die Regeneration von in ein Muskellager transplantierten Knochen nicht unbedingt notwendig, da die Regeneration auch ohne diese Teile in weiten Grenzen vor sich gehen kann. Selbst ein größeres periostberaubtes und in ein periostloses Muskellager übertragenes Knochenstück verfällt keineswegs mit Notwendigkeit der Resorption; vielmehr kann es einheilen und durch neues Knochengewebe ersetzt werden.

3. Autoplastisch entnommene Knochenstücke sind in Bezug auf die Regeneration den homoplastischen weit überlegen; die destruktiven Vorgänge treten bei ihnen viel weniger, der Ersatz dagegen viel stärker und vollständiger zutage."

1930 veröffentlichte MATTI nach jahrelangen experimentellen und klinischen Vorarbeiten seine Erfahrungen mit einem autoplastischen Knochenmaterial, dem er wesentlich bessere Eigenschaften als den bisher verwendeten zuschrieb. Er stützte sich dabei auf die Untersuchungen von PARTSCH (1922) und HOFFMANN (1925), welche im Experiment das Überleben auch größerer Knochenstücke beobachtet hatten. Dabei war von diesen Autoren die Wichtigkeit des schnellen Anschlusses an das Blutgefäßsystem betont worden. Auf Grund eigener Untersuchungen kam MATTI (1931, 1932, 1933) zu dem Schluß, daß ein Überleben kompakter Knochenspäne nur in ganz geringem Umfang möglich sei, daß aber andererseits bei weitgehend spongiösem Knochen und raschem und ausreichendem Anschluß an die Blutzirkulation des Lagers die Hauptmasse des Knochens am Leben bleiben könne. Schon im ersten Weltkrieg hatte er deshalb Unterkieferdefekte nicht mit dem üblichen Kortikalisspan aus der Tibia, sondern mit weitgehend spongiösen Beckenkammspänen gedeckt. Die Ergebnisse und Schlußfolgerungen MATTI's lassen sich in wenigen Punkten zusammenfassen:

1. Autoplastisch übertragene Spongiosa stirbt nicht ab, sondern bleibt in ihrer Hauptmasse am Leben.
2. Die Spongiosa übernimmt sofort nach der Transplantation biologische Aufgaben des Knochens.

2. Die Spongiosa übernimmt sofort nach der Transplantation biologische Aufgaben des Knochens.
3. Das Lager muß für das Transplantat ein gleichartiges, adäquates Milieu zur Verfügung stellen. Dies ist der Fall bei einem gut angefrischten Lager.
4. Klinische Folgerungen sind:
 "Wir haben deshalb die logische Berechtigung, in kleineren Komplexen aus ihrem Verbannde entnommene Spongiosa als plastisches Baumaterial und Träger aktiver Knochenneubildung an Stellen zu übertragen; wo die Regeneration des Knochens mangelhaft ist oder völlig versagt. Dies ist besonders erwünscht bei gewissen Pseudarthrosen und erweist sich auch bei einer Reihe weiterer plastischer und modellierender Operationen am Knochensystem als vorteilhaft."
 (z.n. MATTI, 1932, S.258)

Trotz der Anschaulichkeit seiner Versuche und der Logik seiner Darstellung fand die MATTI'sche Methode zunächst nur wenige Nachahmer. MATTI wies allein im deutschen Sprachbereich sechs mal auf die guten Ergebnisse mit der neuen Methode hin und fand auch Unterstützung durch einige andere Autoren. (KÖNIG 1935) Die Ursache dafür war in dem Aufkommen einer neuen theoretischen Streitfrage zu sehen.



LEVANDER (1938) hatte bei Versuchen am Kaninchen festgestellt, daß sich nach intramuskulärer Injektion von alkoholischen Knochenextrakten in einem hohen Prozentsatz der Fälle heterotope Knochen- und Knorpelbildung nachweisen ließ. Dies führte ihn zu der Hypothese, daß in dem toten Knochen eine durch Alkohol extrahierbare Substanz enthalten sei, welche das unspezifische Bindegewebe des Lagers zu einer Metaplasie in Osteoblasten veranlassen könne. Den genauen Wirkmechanismus konnte LEVANDER nicht klären. Er stellte sich eine Art von "Induktion" im Sinne SPEMANN's vor. Diese neue Theorie, die "Induktionstheorie", fand sehr bald ihre Bestätigung in den Ergebnissen anderer Autoren.

ANNERSTEN (1940/1941) konnte mit "konzentrierten Knochenextrakten" teilweise eine über 50-prozentige Bildung von Knorpel- und Knorpelgewebe im Kaninchenmuskel erzielen. Diese Wirkung war mit Extrakten aus homologen und heterologen Knochen ebenso zu erreichen wie mit denen autologer Knochen. Man hielt deshalb die neu gefundene, hypothetische Substanz für weder individual- noch artspezifisch. OBERDAHLHOFF (1947) und LACROIX (1949) konnten die Versuche LEVANDER's bestätigen und gaben der neuen Substanz einen Namen. (K- Faktor nach OBERDAHLHOFF, Osteogenin nach LACROIX) Spätere Versuche, die chemische Zusammensetzung der Substanz zu klären, waren ohne Erfolg. (WILLESTAEDT, LEVANDER, HULT 1950) Dem Bindegewebe des Lagers war vor diesen Untersuchungen auch schon von anderen eine, wenn auch für die Osteogenese nur unwesentliche Rolle zugewiesen worden. (OLLIER, BASCHKIRZEW und PETROW)

Die Experimente LEVANDER's wurden später von AXHAUSEN (1951) in einer Versuchsreihe an Hunden überprüft; dabei konnte er keinerlei Knochenneubildung nach Injektion alkoholischer Knochenextrakte beobachten. AXHAUSEN schloß daraus, daß die Ergebnisse LEVANDER's auf die besondere Eigenschaft des Kaninchens zurückzuführen seien, auf Entzündungsreize mit heterotoper Knochenbildung zu reagieren. Die Theorie einer induzierten Knochenneubildung durch im Transplantat enthaltene Substanzen sei deshalb nicht länger haltbar; vielmehr sei die Osteoblastentheorie nach wie vor gültig.

Kurz nach den Veröffentlichungen LEVANDER's erregten Berichte über die erfolgreiche Verpflanzung von konservierten Knochen großes Aufsehen. Der Amerikaner INCLAN (1942) hatte in insgesamt 52 Fällen 43 mal autologen und 9 mal homologen konservierten Knochen verpflanzt und dabei keine Überlegenheit des frisch überpflanzten autologen Knochens gegenüber dem konservierten beobachten können. Die Konservierung war bei 2-5° C. im Citratblut des Spenders, in gruppengleichem Blut oder in Ringerlösung vorgenommen worden. Die Konservierungsdauer betrug zwischen 1 und 63 Tagen.

INCLAN ging bei seinen Versuchen davon aus, daß bei niederen Temperaturen aufbewahrte Gewebe offensichtlich ihre Vitalität wesentlich länger behalten können als bei Zimmertemperatur aufbewahrte. Dies war auch schon von anderen Autoren festgestellt worden, für den Knochen bereits von OLLIER. Erste systematische Versuche über dieses Problem hatte CARREL (1912) veröffentlicht.

Dieser hatte das längere Überleben unterkühlter Gewebe auf eine starke Herabsetzung des Stoffwechsels zurückgeführt, wodurch eine Art von "reduziertem Leben" aufrechterhalten werden könne, welches unter geeigneten Bedingungen wieder in einen Zustand von "aktivem Leben" übergehen könne.

Dem Bericht INCLAN's folgten sehr bald zahlreiche Veröffentlichungen, welche ebenfalls über gute Erfolge mit dem konservierten Bankknochen berichten konnten. (WILSON 1947, BUSH und GARBER 1948, WEAVER 1949, BÖHLER 1950, ROTH 1950 und viele andere.)

Die Lehre LEVANDER's gab nun allerdings auch wieder die Berechtigung zu heterologen Transplantationen, da die Substanz, welche Knochenneubildung induzieren sollte, ja auch im heterologen Knochen angeblich vorhanden war. So wurden auch heterologe Transplantationen wieder durchgeführt, welche schon ein halbes Jahrhundert vorher als minderwertig eingestuft worden waren. (FEVRE, JUDET, ARVISET 1949)

GUILLEMINET (1950) glaubte den Beweis erbracht zu haben, daß kältekonserverter Knochen durch die Kälteinwirkung seine Antigenität verliere. Dies gab der Knochenbank eine zusätzliche theoretische Berechtigung.

Der Gedanke, heterologen Knochen von seinen Antigenen zu befreien, welche man an die zellulären Proteine des Knochens gebunden glaubte, führte MAATZ und BAUERMEISTER (1959) zu der Konsequenz, eine besonders schonende Maceration von Kalbsknochen durchzuführen und dieses neue Material auf seine klinische Verwendbarkeit zu überprüfen. Der so entstandene, sog.

Kieler Knochen, wurde nach sorgfältiger Prüfung als neues Material für die Füllung von Knochenhöhlen vorgeschlagen, wo es sich (im ersatzstarken Lager) auch in gewissem Umfang bewährte.(AXHAUSEN 1962)
Die von den Autoren häufig zitierte Funktion des Kieler Knochens als Kalluslocker und Klettergerüst für einsprossendes Lagerbindegewebe wird allerdings in letzter Zeit heftig bestritten.(SCHWEIBERER 1972)

(ORREL (1934) hatte schon zwei Jahrzehnte vorher einen chemisch von allen Weichteilen befreiten Ochsenknochen als osteoplastisches Material vorgeschlagen und angewendet.(sog."os purum") Als "os novum" hatte ORREL (1952) ein für einige Monate unter das Periost der Tibia gelagertes "os purum" bezeichnet und dieses als osteoplastisch aktives Knochenmaterial vorgeschlagen. Dieses wird neuerdings von POPKIROW (1962) wieder als besonders günstiges Material eingestuft.)

Die Immunbiologie hatte inzwischen grundsätzliche Fragen der Immunreaktion des Körpers auf körperfremdes Gewebe lösen können. Dies war vor allem den Versuche MEDAWAR`s und GIBSON`s zu verdanken, welche den Mechanismus der Abstoßung der Haut experimentell erforscht hatten. Schon 1912 hatte SCHOENE aus eigenen und vergleichbaren Studien anderer Autoren den Schluß gezogen, Homotransplantate würden auf Grund eines immunologischen Prozesses abgestoßen. LOEB (1918) hatte SCHOENE allerdings energisch widersprochen und den rein toxischen Einfluß des Transplantates auf das Wirtsgewebe in den Vordergrund gestellt. Erst BITTNER (1935) konnte nachweisen, daß die Abstoßungsreaktion

genetisch bedingt ist, was LITTLE und STRONG (z.n. LARGIADER 1966) schon vorher postuliert hatten. Die Ursache für die verspätete aufdeckung des Wesens der Transplantatallergie lag nach LARGIADER (1966) unter anderem daran, daß nach der Entdeckung der Blutgruppen auch bei Transplantaten eine serologische Immunreaktion erwartet worden war. Nach MEDAWAR (1959) gibt es zwei Arten von Antigenen: Die H-Antigene (Eiweiße), welche eine humorale Allergie auslösen, und die T-Antigene (DNS-Komplexe), welche eine zelluläre Allergie des Wirtes hervorrufen. Diese zweite Art der Allergie, die Transplantatallergie, ist rein zellgebunden. Die heutige Anschauung über den Mechanismus immunologischer Reaktionen nach der Transplantation ist in kurzen Umrissen folgende:

Bei einer Transplantation zwischen genetisch verschiedenen Individuen der gleichen oder einer anderen Spezies bilden sich während der ersten etwa 10 Tage zwischen dem Transplantatgewebe und dem benachbarten Wirtsgewebe Gefäßanastomosen aus, durch die das Transplantat durchblutet und ernährt wird. Gleichzeitig gelangen die Antigene des Transplantates über die Lymphbahnen zu den regionären Lymphknoten des Transplantatempfängers, wo sie die Bildung spezifisch sensibilisierter Immunzellen anregen.

Sobald diese zur Spätreaktion befähigten Zellen zum Transplantat gelangen, reagieren sie spezifisch mit den Transplantatantigenen und setzen dabei unspezifische Reizstoffe frei. Diese provozieren dichte Monozyteninfiltrate im Reaktionsbereich um das Transplantat. Dabei werden die Kapillarverbindungen zum

Transplantat unterbrochen und das Transplantat stirbt ab. Die Übertragene Gewebsart des Spenders ist nicht von Bedeutung, da die Antigene eines jeden Organs und Gewebes beim gleichen Individuum identisch sind. Eine Ausnahme machen Transplantate der Cornea, in die vordere Augenkammer oder ins Gehirn. Dies hängt wahrscheinlich mit den dort fehlenden Lymphbahnen zusammen. (n. GÜNTHER 1969) Die Richtigkeit der oben dargestellten Mechanismen auch für die Knochentransplantation konnte von BURWELL (1962) nachgewiesen werden.

So konnte nach den Ergebnissen der Immunbiologie kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß ein dauerhaftes Überleben körperfremder Transplantate nicht möglich ist. Dies stimmte auch mit den histologischen Befunden der meisten früheren Autoren überein. (VITALLI 1965)

Wichtig war es nun, zu wissen, ob ein autologes Transplantat die bis zur Revascularisierung durch das Lager nur durch Diffusion erfolgende Ernährung ohne allzu große Zellschädigung oder Zellnekrosen überstehen kann. Darüberhinaus war es wesentlich, ob der Anschluß an das Gefäßsystem früh genug erfolgt, um die bis dahin durch die Mangelerkennung des Transplantates hervorgerufenen Zellschäden in einem noch reversiblen Stadium anzutreffen. Nur unter diesen Bedingungen war ein dauerhaftes Überleben und eine aktive Beteiligung des Transplantates bei der Knochenneubildung im Lager zu erwarten. MAATZ, LENTZ und GRAF (1952) konnten nachweisen, daß ein Überleben von Transplantatzellen in geeignetem Milieu bis zu 8 Tagen sicher, darüber hinaus bis zu 16 Tagen in Teilen möglich ist. Auch ALGIRE, WEAVER und PREHN (1954), SEGMÜLLER (1967) und ECKE (1967) konnten im Experiment die ausreichende Ernährung des Transplan-

tates durch Diffusion beweisen. Die Autoren benutzten dazu die sog. Milliporekammer, eine mit Poren versehene Metallfolie, welche bei einer Porengröße von 0,45 Mikron für Flüssigkeiten, Elektrolyte und kleinere Eiweißmoleküle, nicht jedoch für Zellen passierbar ist. SCHENK und WILLENEGGER (1964) konnten ebenfalls die Erhaltung der Zellvitalität von Osteocyten beobachten, welche für ein bis zwei Wochen von der Blutversorgung ausgeschlossen waren.

Mit diesen Feststellungen war die Frage des frühzeitigen Anschlusses des Transplantates an das Gefäßsystem des Lagers zur entscheidenden Frage beim Überleben des Transplantates geworden. GRAF (1959) konnte nachweisen, daß im sog. Spongiosatest schon nach vier Tagen 1/3 bis 1/4 aller Kapillaren im Zentrum eines spongiösen Transplantates Anschluß an die Lagerkapillaren gefunden hatten. HANCOX (1947) hatte schon nach 5 Stunden ein funktionierendes Gefäß am embryonalen Knochentransplantat auf die Allantois des Hühnereies beobachten können.

Die prinzipielle Möglichkeit des Überlebens eines autologen Transplantates war damit gesichert. Die Abhängigkeit des Transplantates von der Beschaffenheit des Lagers und der damit zusammenhängenden Güte der Diffusion und Schnelligkeit der Revascularisierung war schon viel früher festgestellt und in ihrer Wichtigkeit betont worden. (LEXER, AXHAUSEN) Diese Faktoren wiederum sind eng gekoppelt mit der Form und Struktur des Transplantates. So scheint es naheliegend, daß ein spongiöses Transplantat wegen seiner weitmaschigen Struktur sehr viel schneller Anschluß an das Lagergefäßsystem findet als Kortikalis. (MATTI 1932)

Ein Jahrhundert nach dem Beginn der ersten systematischen Untersuchungen über die Knochentransplantation scheint ein großer Teil der danach mit soviel wissenschaftlicher Zähigkeit ausgetragenen Streitfragen nun gelöst. Trotzdem sind für die Klinik eine Menge noch immer ungelöster Fragen geblieben, insbesondere die Frage nach einem Material zur Auffüllung von Knochendefekten, welches bei ausreichend guten Eigenschaften demn Patienten einen zweiten Eingriff erspart. Neuere Ergebnisse lassen im denaturierten Kollagen einen Ansatzpunkt in dieser Richtung erkennen. (BEDACHT 1971)

ANATOMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN DER KNOCHENTRANSPLANTATION

Der Knochen besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen:

1. den Zellen
2. der organischen Grundsubstanz (Matrix)
3. Kristalliten

Wie alle Binde- und Stützgewebe, entsteht auch das Knochengewebe aus dem embryonalen Mesenchym. (BENNINGHOFF-GOERTTLER 1961) Nach heutiger Auffassung sind in dem Mesenchym sehr frühzeitig präsumptive Keimbezirke festgelegt. (KNESE 1966) Diese sind für die Osteogenese präterminiert und bilden das Reservoir der osteogenetischen Stammzellen, welches alle zum Knochen gehörigen Zellen aus sich hervorgehen läßt. Nur diese Stammzellen nehmen nach KEMBER (1960), TONNA (1961) und YOUNG (1962) Tritium-markiertes Thymidin auf und geben es nach Einbau in die DNS des Kernes mitotisch an die nächsten Zellgenerationen weiter. Aus ihnen gehen entweder Osteoblasten hervor, möglicherweise auch die Osteoklasten, oder sie bleiben Stammzellen. (n. SCHWEIBERER 1970)

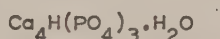
Die Osteoblasten und Osteocyten, d.h. die bereits in der Knochenhartschubstanz liegenden Osteoblasten, erzeugen die Grundsubstanz, ein amorphes kolloidales System von neutralen und sauren Mucopolysacchariden (= Chondroitinsulfat), welche mit Eiweißen einen Mucoproteinkomplex bilden. Dies geschieht wahrscheinlich durch glykosidische Bindungen mit der Hydroxylgruppe des Serins der Eiweiße. (RAPOPORT 1969)

In diesen Mucoproteinkomplex werden die kollagenen Fasern eingelagert, bestehend aus Kollagen, einem Skleroprotein, dessen Haupteigenschaft die Fähigkeit zur Aggregation ist, wodurch Fibrillen und Fasern entstehen, welche sich durch große mechanische Zugfestigkeit auszeichnen. Grundeinheit des Kollagenmoleküls ist das Tropokollagen, ein starres, stabförmiges Eiweißmolekül von 1,4 nm Durchmesser und 280 nm Länge. Es ist aus drei Peptidketten aufgebaut, welche eine verdrehte Spirale nach Art eines Seiles bilden. Diese Tropokollagene lagern sich endständig aneinander und bilden lange, sog. Protofibrillen, die sich wiederum zu Filamenten, Fibrillen und Fasern zusammenlagern, (RAPOPORT 1969)

Für die Mineralisierung des Knochens ist die Bildung der Grundsubstanz und des Kollagens Vorbedingung. Dabei spielen die Osteoblasten die entscheidende Rolle. Vermutlich wirken für die Mineralisierung des Knochens drei Prozesse zusammen.

1. lokale Erhöhung der Konzentration der Phosphationen, möglicherweise durch die Aktivität der von den Osteoblasten gebildeten alkalischen Phosphatase.
2. pH- Verschiebung. (Durch Erhöhung des pH- Wertes wird das Löslichkeitsprodukt des Calciumphosphates vermindert.)
3. Anreicherung von Calciumionen durch Chondroitinsulfat.

Der Prozess der Mineralisation ist noch nicht vollständig erklärbar. Sicher ist, daß es durch ein Zusammenspiel chemischer und physikalischer Prozesse zu einer Einlagerung von Kristalliten, vorwiegend Calciumphosphat, in das Kollagengerüst kommt. Die Kristallform hat sehr große Ähnlichkeit mit der des Apatits, wie mit Hilfe von Röntgen-Beugungsspektren festgestellt wurde. Nach neuesten Untersuchungen ist am ehesten ein Octacalciumphosphat anzunehmen mit der Formel:



(z.n. RAPOPORT 1969)

Da die Kristallite in sehr kleiner Form vorliegen, ergibt sich eine Gesamtoberfläche von $200 \text{ m}^2/\text{g}$ Salz, von der jedoch "nur" $1/4$, d.h. $50 \text{ m}^2/\text{g}$ Salz mit der extrazellulären Flüssigkeit in Kontakt steht. (FLEISCH 1961) Diese große Oberfläche ist für den stetigen Ionenaustausch zwischen Plasma, extrazellulärer Flüssigkeit und Knochensalzen notwendig.

An- und Abbau des Knochens unter physiologischen Bedingungen erfolgen in sehr kleinen Arealen von 0,1 bis 1 mm Größe. Veränderte Beanspruchung des Knochens führt zu Umbauvorgängen, die den Knochen der veränderten Belastung anpassen. Dabei wirkt die federnde Verschiebung der Kollagenfasern im Knochen als Umbaureiz. (TISCHENDORF 1951) Möglicherweise üben dabei auch piezoelektrische Kräfte einen Einfluß auf die Tätigkeit der Osteoklasten und Osteoblasten aus. (ALLGÖWER 1967) Die Umbaurate ist in der Spongiosa dreimal so hoch wie in der Kompakta. (FROST 1963)

DIE KNOCHENBRUCHHEILUNG

1. sog. primäre Knochenbruchheilung

Diese von SCHENK und WILLENEGGER (1964) beschriebene Art der Knochenbruchheilung ist erst durch die operative, völlig stabile, möglichst bruchflächenkongruente Frakturstellung möglich geworden. (BEDACHT 1971) Dabei kommt es zur direkten Anlagerung von Knochensubstanz an die Osteone der beiden Fragmente ohne dazwischenliegendes Granulationsgewebe und ohne periostalen Kallus, wodurch die Knochenkontinuität wiederhergestellt wird.

2. sekundäre (normale) Knochenbruchheilung

Hier erfolgt die Heilung durch Kallusbildung. Dabei entsteht aus den innersten Periostschichten und aus den Endostzellen des Markraumes ein zelliges Keimgewebe, dessen Zellen zu Osteoblasten werden. Diese erzeugen eine faserige Zwischensubstanz und geflechtartigen Knochen, welcher die Bruchenden vereinigt. Besonders bei Verschieblichkeit der Bruchenden gegeneinander findet sich bei Ersatzknochen stets auch Knorpelgewebe, welches später durch Knochen ersetzt wird. Das jugendliche Knochengewebe in der Umgebung der Fraktur, der Kallus, ist seiner Lokalisation nach als periostaler, endostaler und intermediärer Kallus zu bezeichnen. Der aus geflechtartigem, unreifem Knochen bestehende provisorische Kallus wird später durch lamellären, reifen Knochen ersetzt und durch Resorption überschüssigen Knochens in den definitiven Kallus umgewandelt. Röntgenologisch sind die Kallusbildung, die knöcherne Vereinigung der Bruchenden, sowie im Laufe der Zeit zunehmend trabekuläre Strukturen nachweisbar, welche Ausdruck der nun wieder trajektoriiellen Anordnung des Knochens sind. (n. HAMPERL 1960)

EINHEILUNG DES AUTOLOGEN SPONGIOSATRANSPLANTATES

Die Anordnung der Frakturheilung und der Einheilungsvorgänge autologer Transplantate so dicht nebeneinander wurde nicht willkürlich gewählt, sondern erfolgte wegen ihrer weitgehenden Gleichartigkeit. In beiden Fällen grenzen jeweils lebende Knochenanteile an aus ihrem Verband herausgelöste, mehr oder weniger stark geschädigte Knochenbezirke an. (VITALLI 1965)

Folgende Vorbedingungen sind nochmals herauszustellen:

1. Osteocyten, welche aus dem Knochenverband herausgelöst und ohne Blutversorgung sind, können noch bis zu zwei Wochen überleben. (SCHENK und WILLENEGGER 1964)

2. Das Schicksal des freien Transplantates ist von der Diffusion im neuen Lager und der anschließenden Revascularisation durch das Gefäßsystem des Lagers unmittelbar abhängig. Spongiöser Knochen wird sehr viel schneller an das Wirtsgefäßsystem angeschlossen als Kortikalis. (MATTI 1932, ABBOT 1947)

So ergibt sich nach histologischen, röntgenologischen und klinischen Gesichtspunkten folgender Verlauf bei der Einheilung eines autologen Spongiosatransplantates:

HISTOLOGISCHE VORGÄNGE

Nach GRAF (1959), der besonders dem Verhalten der Gefäße seine Aufmerksamkeit widmete, verlaufen die ersten Stadien der Einheilung etwa folgendermaßen:

Nach Transplantation von Spongiosa in ein Knochenlager ist das Transplantat zunächst von einem Hämatom umgeben. Schon nach wenigen Stunden wird es jedoch zusätzlich von einem Ödem der Umgebung durchtränkt. Dieses (von AXHAUSEN "Saftstrom" genannte) Ödem spielt eine entscheidende Rolle bei der unbedingt notwendigen Aufrichterhaltung zumindest einer reversiblen "vita minima" der Transplantatzellen durch Diffusion, welche die Versorgung des Transplantates durch Zufuhr von Sauerstoff und Nahrungsstoffen sowie Abtransport von Stoffwechselprodukten der Transplantatzellen ermöglicht. (KNAKE 1965) Daß die Diffusion ausreichen kann, die Ernährung des Transplantates in genügendem Ausmaß zu sichern, wurde von ALGIRE, WEAVER und PREHN (1954), SEGMÜLLER (1967) und ECKE (1967) nachgewiesen.

Innerhalb von vier Tagen findet das Gefäßsystem des Transplantates zu einem Großteil (nach GRAF 1/3 bis 1/4 der Kapillaren) Anschluß an das Kapillarnetz des Lagers. GRAF konnte nachweisen, daß dies nur bei autologen Transplantaten der Fall ist. Darin besteht nach GRAF der wesentliche Grund für die Überlegenheit des autologen Transplantates. J. DE JONG (1928) hatte schon früher gleichartige Befunde erhoben, später wurden diese von MAATZ, LENTZ und GRAF (1952), PEER (1955), STRINGA (1957) und KRÜGER und LÖSCH (1964) nochmals bestätigt. Andere Autoren sahen Anastomosenbildung schon früher. HANCOX (1947) schon nach 5 Stunden. FORGON und BORNEMISZA (1970) fanden bei Tierversuchen, daß die Revascularisierung bei autologen Transplantaten 3-4 mal schneller abläuft als bei homologen Transplantaten. Von Bedeutung ist die frühzeitige Kapillardurch-

strömung des Transplantates besonders für die von AXHAUSEN (1962) und TRUETA (1963) festgestellte, frühzeitige Knochenneubildung in autologen Transplantaten. TRUETA (1963) bringt die Osteogenese in direkten Zusammenhang mit den aus dem Gefäßendothel hervorgegangenen Osteoblasten.

Nach W.AXHAUSEN (1954, 1962, 1965) verläuft die Einheilung autologer Transplantate in 2 Phasen. Die erste Phase ist bestimmt durch eine 4 bis 5 Tage nach der Transplantation einsetzende Knochenneubildung durch Überlebende Transplantatzellen. (Ein wichtiger Hinweis für die Richtigkeit der GRAF'schen Befunde!) Die zweite Phase beginnt im Experiment nach 4 bis 4 Wochen und besteht in der metaplastischen Bildung von Osteoblasten aus dem Lagerbindegewebe, welche neuen Knochen produzieren. Ein Anreiz für diesen Vorgang findet sich nach SCHWEIBERER (1970) ebenfalls nur bei autologen Transplantaten. Im weiteren Verlauf wird der zunächst provisorisch gebildete, unreife Knochen wie bei der normalen Knochenbruchheilung durchgebaut und es kommt zu einer normalen Knochenstruktur mit Ausbildung einer Markhöhle sowie einer Kortikalis. (MATTI 1936)

RÖNTGENOLOGISCHE VORGÄNGE NACH TRANSPLANTATION

Nach Spongiosatransplantation in ein knöchernes Lager zeigt die Röntgenaufnahme zunächst die implantierte Spongiosamasse als isolierte Teilchen, welche nach 3 bis 4 Wochen durch eine zunehmende Verdichtung abgelöst werden. Kurze Zeit nach der Transplantation

findet sich im Zentrum (besonders bei größeren Transplantaten) ein Aufhellungsbezirk, welcher den hier stärker in Erscheinung tretenden Abbauvorgängen entspricht. (THÖRMER und WEBER 1952)

In den nächsten Monaten verkleinert sich dieser Bezirk von der Peripherie her immer mehr. Die zunächst noch homogene Verdichtung im Röntgenbild, welche dem noch unreifen Knochen entspricht, strukturiert sich im Laufe der Zeit. Nach SEGMÜLLER (1963) zeigt das Transplantat nach Auffüllung osteomyelitischer Knochenhöhlen bereits nach drei Monaten trabekuläre Strukturen. Nach PROBST (1966) ist das Transplantat bei Pseudarthrosen des Unterarmes nach 6 Monaten völlig durchgebaut. Der Aufbau einer Kortikalis beginnt etwa nach 6 Monaten und ist nach 2-3 Jahren beendet. (SEGMÜLLER 1963) Auffällig schneller Durchbau wird auch bei kortico-spongiösen Spänen beobachtet. (ZACHARIAS und POPP 1963)

KLINISCHE EINHEILUNG DER IMPLANTIERTEN SPONGIOSA

Bei der autologen Spongiosaplastik ist bei einwandfreier Technik und nicht allzu ungünstigem Lager eine primäre Wundheilung und Einheilung der Spongiosa die Regel. Es wird aber immer wieder darauf hingewiesen, daß selbst bei ungünstigem, infiziertem Lager ein gutes Einheilen wahrscheinlich ist. Darauf haben nach MATTI (1936) auch KÖNIG (1935), SCHINDLER (1968), KRUMBIEGEL (1966), GÖPFERT (1968), REHN (1968) und viele andere Autoren hingewiesen.

INDIKATIONEN FÜR DIE AUTOLOGE SPONGIOSAPLASTIK

Die autologe Spongiosaplastik eignet sich grundsätzlich besonders gut für diejenigen Fälle, bei denen eine besonders rasche und ausgiebige Osteogenese im Bereich des Transplantates erforderlich ist, um die Ausheilung sicherzustellen. Hier ist die autologe Spongiosa jedem körperfremden Material überlegen. (HANSLIK 1964) In Frage kommen alle septischen und aseptischen Knochenhöhlen, welche mit anderen Methoden nicht sicher auszuheilen sind, atrophische und Defektpseudarthrosen. Außerdem ist sie zur Unterfütterung frischer Frakturen bei sonst nicht sicher erreichbarer Stellungskorrektur indiziert. Infizierte Pseudarthrosen sind keine Kontraindikation.

Im ersatzschwachen Lager bietet die autologe Spongiosaplastik als einzige Form der Transplantation Aussicht auf bleibenden Erfolg. (HANSLIK 1964) Nur im ersatzstarken Lager seien auch homologe Transplantate zu verwenden. Die gleiche Auffassung vertreten MEZNIK und SLANCAR (1965), mit Einschränkung auch BÜRKLE DE LA CAMP (1956) und FRIEDEBOLD (1966).

LENTZ (1954), der das Verhalten verschiedener Transplantate im Lager prüfte, kam wegen der sehr unterschiedlichen Einheilungstendenz homologer Transplantate zu dem Schluß, daß für die Klinik die autologe Transplantation die besten Einheilungschancen bietet.

Grob schematisch lassen sich folgende Indikationsgruppen für die autologe Spongiosaplastik abgrenzen:

1. KNOCHENHÖHLEN

a) septische Knochenhöhlen

b) aseptische Knochenhöhlen

2. PEUDARTHROSEN UND DEFEKTPSEUDARTHROSEN

3. ZUR PRIMÄRVERSORGUNG VON FRAKTUREN

1. a) Septische Knochenhöhlen

Bei den infizierten Knochenhöhlen, insbesondere der chronischen Osteomyelitis, haben RETTIG (1953), THÖRMER und WEBER (1957, 1959), THÖRMER (1961), POPKIROW (1958, 1962), SCHEDEL (1962), DEISTER, HEINEMANN und OSTAPOWICZ (1965), KRISTEN und SALZER (1969), BEDACHT und PÖSCHL (1971) und viele andere Autoren auf gute Ergebnisse mit der autologen Spongiosaplastik hingewiesen und gleichzeitig ihr gutes Einheilen auch im infizierten Lager betont. RETTIG (1953) und THÖRMER und WEBER (1961) empfehlen für stark eiternde, fistelnde Osteomyelitiden das zweizeitige Vorgehen mit praeoperativer Spüldrainage nach WILLENEGGER. Auch WILLENEGGER (1970) hat die praeoperative Spüldrainage neuerdings wieder empfohlen, da sie die Sicherheit der Einheilung des Transplantates erhöhe.

1 b) Aseptische Knochenhöhlen

Bei der Behandlung der jugendlichen Knochenzyste und der Riesenzelltumoren sahen HELLNER (1958), GROSS (1962), VALLS (1968), V.D.BERG und SCHWEIBERER (1971) gute Ergebnisse mit der autologen Spongiosaplastik.

Nach HELLNER (1958) ist bei den Riesenzelltumoren zu beachten, daß hier im Gegensatz zu den juvenilen Knochenzysten die sorgfältige Auskratzung der Zyste allein nicht ausreicht, sondern nur die Resektion in Frage kommt. TOMASCHESKI und KRUSE (1970) weisen auf günstige Resultate mit der autologen Spongiosaplastik zur Auffüllung der entstandenen Knochenhöhlen nach Ausräumung von Enchondromen hin.

POPKIROW (1962) erwähnt als Indikationen außerdem das eosinophile Knochengranulom, den Knochenenchinkokkus und die spezifischen Kavernen. (Diese müßten allerdings als besonders seltene Indikationen eingestuft werden.)

2) Pseudarthrosen und Defektpseudarthrosen

Als gute operative Behandlungsmethode wurde die autologe Spongiosaplastik nach MATTI (1931, 1932, 1936) auch von KÖNIG (1935), ZENKER (1947), BÖHLER (1961), POPKIROW (1962), PROBST (1966), REHN und SCHRAMM (1966), WELLER (1967/1968), STÄHLI (1967), GÖPFERT (1968), GENEWEIN, MOHR und RUEFF (1968), WILHELM und RUEFF (1971) anerkannt. SANDER (1969) weist auf die Notwendigkeit hin, atrophische Pseudarthrosen wegen ihrer osteogenetischen Insuffizienz nicht nur mit stabiler Osteosynthese zu behandeln (KÜNTSCHER-Nagel, AO-Verfahren), sondern zusätzlich eine Autoplastik vorzunehmen. Dabei seien autologe Spongiosa oder der Beckenkammspan besonders zu empfehlen. Bei hypertrophischen Pseudarthrosen sei dagegen nach allgemeiner Ansicht die operative Stabilisierung allein ausreichend. KÜNTSCHER (1959) hält im Gegen-

satz dazu das Bindegewebe im Pseudarthrosenspalt nicht für minderwertig und schlägt als ausreichende Methode die alleinige Marknagelung vor.

VELLER (1969) und SCHRAMM (1968) vertreten die gleiche Ansicht wie SANDER.

COTTA (1965/1968) sah gute Ergebnisse bei der Kombination von Druckosteosynthese und Autoplastik. WALCHER (1969) ist der Ansicht, daß für unkomplizierte Fälle von Pseudarthrosen (jugendliche Patienten und Pseudarthrosen im Frühstadium) die Phemister-Plastik ausreicht. Für alle problematischeren Fälle sei die stabile Osteosynthese mit zusätzlicher autologer Spongiosaplastik aussichtsreicher. GREIFENSTEINER hatte schon 1953 die gleiche Ansicht vertreten.

3. Spongiosaplastik zur Primärversorgung von Frakturen

Die autologe Spongiosaplastik eignet sich nicht nur zur Behandlung von Knochenhöhlen und sekundär eingetretenen Störungen der Knochenheilung, sondern auch zur Primärversorgung von Frakturen. Dies ist indiziert bei Frakturen, welche auf Grund von zerstörter Knochensubstanz eine exakte Reposition nicht zulassen. Dies gilt vor allem für Frakturen in Gelenknähe, bei welchen die Funktion des Gelenks nach ungenügender Reposition in Mitleidenschaft gezogen würde. Außer für die Behandlung der Tibiakopfbrüche wird in der letzten Zeit auch bei Frakturen des distalen Radiusendes zur Erreichung einer genauen Längenreposition die autologe Spongiosaplastik empfohlen. (PANNIKE 1973) Auch in Fehlstellung verheilte Frakturen des Radius können nach Osteotomie mit Spongiosaunterfütterung ausgeglichen werden. (WAGNER 1973)

ZUR OPERATIONSTECHNIK

Die Technik der autologen Spongiosaplastik wurde erstmals im Jahre 1929 von MATTI selbst bei der Jahresversammlung der Schweizerischen Gesellschaft für Chirurgie als Behandlungsmethode für die operative Behandlung von Pseudarthrosen vorgetragen. Da in Fachkreisen einige Unklarheiten über die genaue Technik der Operation zu herrschen schienen, beschrieb MATTI 1936 nochmals das operative Vorgehen. Er ging dabei von zwei Grundideen aus, welche ihn zu der Methode geführt hatten:

Erstens," daß die Pseudarthrosen, wenn wir von den Defektpseudarthrosen absehen, letzten Endes auf einer lokalen qualitativen Insuffizienz der Knochenregeneration beruhen
Es schien mir deshalb aussichtsreich, lockeres, gut vascularisiertes und normal regenerationsfähiges Knochengewebe in Form von Spongiosa zwischen die in geeigneter Form angefrischten Fragmente zu übertragen."

Zweitens;" Da für den Erfolg einer Pseudarthrosenoperation die Auffrischung der Bruchenden bis in das gesunde Knochengewebe hinein erforderlich ist, werden durch die Operation die Pseudarthrosen oft in Defektpseudarthrosen umgewandelt. Die zwischen den Fragmenten bestehende Lücke wird nun durch Spongiosa aus dem Trochantergebiet ausgefüllt, welche in ihrer Hauptmasse lebend einheilt. Für den Erfolg der Operation ist weiter entscheidend, daß die der Pseudarthrose zugewandten Fragmente einige Zentimeter über den Bereich der Pseudarthrose hinaus flach aufgemeißelt werden und der bindegewebige Discus excidiert wird, jedoch nicht vollständig, sondern so, daß an der hinteren Circumferenz des Discus eine

schmale, die Fragmentenden verbindende Brücke von Bindegewebe zurückbleibt. Diese Brücke hat die Aufgabe, eine stärkere Verschiebung der Fragmentenden gegeneinander zu verhindern."

Die dichte Ausfüllung des Knochens durch sorgfältiges Einpressen der Spongiosabröckel ist besonders wichtig. (MATTI 1936)

Dem Prinzip der Operation haben sich die meisten Autoren angeschlossen, wenn auch durch die neuen Methoden der operativen Frakturstabilisierung entsprechend modifiziert. Nach übereinstimmender Meinung der Autoren ist die gründliche Vorbereitung des Lagers durch Aufmeißelung des Knochens bis in den gesunden Bereich hinein von allergrößter Wichtigkeit. (SCHEIDT 1952, HELLNER 1958, THÖRMER 1961, GRUNDMANN 1961, POPKIROW 1962, RICHTER 1968, SCHINDLER 1968)

Nach dem Einbringen der Spongiosa ist, wenn irgend möglich, ein Verschuß der Knochenhöhle durch Periostnaht und danach ein Spannungsfreier primärer Wundverschluß anzustreben. Die vollständige Weichteildeckung muß unter Umständen durch eine zusätzliche Hautplastik erreicht werden. (POPKIROW 1966)

KASUISTIK

Im Folgenden werden einige ausgewählte Fälle, welche mit der autologen Spongiosaplastik behandelt wurden, gezeigt. Dabei wurde auf die Einheilungstendenz der autologen Spongiosa im Röntgenbild besonderer Wert gelegt, daneben soll aber auch ein Eindruck der typischen Vorgeschichten und des klinischen Verlaufes der so behandelten Pseudarthrosen, Frakturen und Knochenhöhlen gegeben werden.

Wegen der Unmöglichkeit, kleinere Spongiosaanteile im oft massiven, durch Bruchlinien und kleinere Fragmente überlagerten Knochen isoliert auszumachen, ist zum Beispiel bei Tibiakopffrakturen eine röntgenologische Beurteilung des Verlaufes der Transplantatheilung nicht möglich. Der Erfolg zeigt sich hier eher in der vergleichsweise raschen Heilungstendenz und der Stabilität der operativ erreichten Stellung. Dagegen ist bei der Auffüllung von lokalisierten Knochendefekten die Einheilung der Spongiosa gut zu beobachten. Unter diesem Gesichtspunkt verdienen die Fälle II und III besondere Beachtung. Die anderen Fälle sollen den Heilungsverlauf komplizierter, zum Teil mehrfach voroperierter Zustände anschaulich machen. Bei allen Patienten war die Wundheilung unter der prophylaktischen Gabe von 4-mal 0,5g Lincomycin tgl. für die ersten 10 Tage nach der Operation ungestört.

Fall I

Patient S., Anton, 22 Jahre, Pferdeknecht.

Der Patient war im April 1967 vom Pferd gestürzt und hatte sich dabei eine schwer zu reponierende Unterarmfraktur links zugezogen. Diese wurde am Tag nach dem Unfall mit zwei AO-Platten versorgt. Nach zunächst komplikationslosem Verlauf wurde der Patient 4 Wochen später aus der stationären Behandlung entlassen. Zu ambulanten Verlaufskontrollen erschien er nicht. Erst anlässlich der Materialentfernung im März 1968 wurde eine vorher klinisch und röntgenologisch nicht sicher erkennbare Pseudarthrose der Ulna festgestellt, während der Radius knöchern konsolidiert war.

Nach erfolglosem Versuch, die Pseudarthrose durch konservative Maßnahmen doch noch zur Ausheilung zu bringen, wurde der Patient ein halbes Jahr später erneut operiert. Wegen der brüchigen Konsistenz des Knochens im Bereich der Fraktur wurde diesmal auf eine Verplattung verzichtet und statt dessen eine Spanverpflanzung aus der Ulna mit gleichzeitiger Anlagerung von Spongiosa aus dem Beckenkamm vorgenommen. Bis zur Entlassung des Patienten aus der stationären Behandlung im November 1969 gute Heilungstendenz im Röntgenbild. Zur Kontrolle erschien der äußerst unzuverlässige Patient erst wieder im Juni 1970 auf wiederholte Mahnung der zuständigen Berufsgenossenschaft. Erneut war es zu einer Pseudarthrose gekommen.

Nun wurde als dritte Operation eine typische MATTI-Plastik vorgenommen; zusätzliche Stabilisierung der Fragmente durch eine AO-Platte.

Schon nach 7 Wochen ist der Pseudarthrosenspalt knöchern überbrückt. Bei der Wiedervorstellung des Patienten im Mai 1972 zeigt sich eine vollständige knöcherne Konsolidierung mit Ausbildung einer Markhöhle und durchgehender Korticaliszeichnung.

Im Röntgenbild ist der Einbau der Spongiosa gut zu beobachten.

Abb.I/ 1 zeigt die Aufnahme des Unterarmes vor der Operation. Die Resorptionslinie im Pseudarthrosenbereich ist stellenweise über 5 Millimeter breit.

Abb.I/ 2: Das Röntgenbild wurde 8 Tage nach der Spongiosaplastik aufgenommen. Die transplantierte Spongiosa imponiert als unregelmäßig strukturierte Aufhellung im Pseudarthrosenspalt, zum Teil als in den Weichteilen liegende kalkdichte Verschattung.

Abb.I/ 3 (7 Wochen nach der Operation) läßt bereits eine durchgehende Knochenverbindung zwischen den Fragmentenden erkennen. Der Pseudarthrosenspalt ist nur noch als unscharf begrenzte Aufhellungslinie im Knochen auszumachen.

Abb.I/ 4 (5 Monate nach der Operation): Die ehemalige Pseudarthrose ist nur noch an einer kleinfleckigen Aufhellung der Knochenstruktur und der periostalen Auftreibung des Knochens erkennbar. Fast vollständiger Durchbau der Korticalis.

Abb.I/ 5 zeigt die Verhältnisse nach der Materialentfernung im Mai 1970. Abgesehen von den Schraubenlöchern und periostaler Zackenbildung weitgehend normale Knochenstruktur.

Fall II

G., Edith, 15 Jahre, Schülerin.

Bei diesem jungen Mädchen war im August 1967 ein zystischer brauner Tumor im distalen Drittel der rechten Tibia festgestellt worden. Abb.II/ 1 zeigt den großen zystischen Tumor im Röntgenbild.

Am 23. August 1967 wurde die Patientin operiert und dabei nach Excochleation der Zyste autologe Spongiosa vom Beckenkamm in den Defekt eingelegt, allerdings wegen der großen Ausdehnung des Defektes gemischt mit Kieler Spongiosa.

Abb.II/ 2 (2 1/2 Wochen nach der Operation) zeigt im Vergleich zum umgebenden Knochen eine Verdichtung im peripheren Anteil des Transplantates, während im Zentrum fleckförmige, unregelmäßige Aufhellung zur Darstellung kommen. Dies ist durch die Verschiedenheit des eingebrachten Materials und der Ernährungsbedingungen verständlich.

Im weiteren Verlauf war röntgenologisch der zunehmende Durchbau des Transplantates zu verfolgen. Abb.II/ 3 zeigt das Röntgenbild ein Jahr nach der Operation. Der zentrale Anteil des Transplantates zeigt noch immer etwas fleckige Zeichnung, während die Peripherie noch verdichtet erscheint, jedoch bereits mit trabekulären Strukturen in den umgebenden Knochen übergeht.

Fall III

Patientin A., Eva, 16 Jahre, Schülerin.

Bei der Patientin wurde Anfang Juli 1966 ein großes Chondrom im lateralen Anteil des linken proximalen Humerus festgestellt. Bei der nachfolgenden Operation Ende Juli 1966 wurde der Tumor reseziert und der entstandene Knochendefekt mit autologer Spongiosa aus dem linken Trochanter maior teilweise ausgefüllt. Abb.III/ 1 zeigt die Röntgenaufnahmen vor der Operation, Abb. III/ 2 die Aufnahmen unmittelbar nach der Operation. Abb. III/ 3 läßt bereits 10 Tage nach der Auffüllung des Defektes eine Zunahme des Kalkgehaltes zumindest andeutungsweise erkennen.

In den folgenden Monaten war eine zunehmende Knochenneubildung im Bereich des Defektes und die Abflachung der ursprünglich tiefen Knochenhöhle zu beobachten.(Abb.III/ 4)

Die Abb. III/ 5 zeigt die Verhältnisse drei Jahre später. Die Knochenstruktur ist normal bis auf die etwas geringere Knochendichte an der Stelle des ehemaligen Defektes; durchgehende Kortikaliszeichnung.

S., Inge, 48 Jahre, Hausfrau.

Bei einem Sturz auf den linken Arm hatte sich die Patientin im März 1968 einen Bruch des linken Oberarmes im distalen Drittel zugezogen. Dieser wurde operativ mit einer Halbrohrplatte primärversorgt. Im März 1969 mußte die Patientin wegen einer Pseudarthrose im Frakturbereich erneut stationär aufgenommen werden. Es war zu einer Plattenlockerung gekommen, welche als Ursache für die Pseudarthrosenbildung angesehen wurde. Die Abb. IV/ 1 zeigt den Aufnahmebefund vom März 1969.

Am 25. März 1969 wurde die Patientin erneut operiert. Dabei wurde die lockere Halbrohrplatte entfernt, die Pseudarthrose durch eine 8-Loch-AO-Platte stabilisiert und nach Anfrischung der Fragmentenden Spongiosa aus dem Beckenkamm in den entstandenen Defekt eingelagert. Die Bilder in Abb. IV/ 2, nach der Operation angefertigt, zeigen, daß die Fragmentenden nur geringen Kontakt haben; die Achsenstellung erscheint ausreichend gut.

Nach fünf Wochen (Abb.IV/ 3) ist eine Zunahme des Kalkgehaltes im Röntgenbild trotz unterschiedlicher Aufnahmetechnik bereits deutlich erkennbar; diese ist nach Ablauf zweier weiterer Wochen noch ausgeprägter.(Abb. IV/ 4)

Nach sechs Monaten ist in dem Bereich, in dem die Knochenfragmente Kontakt haben, weitgehend durchgehende Knochenstruktur zu beobachten.

Abb. IV/ 5: Die Pseudarthrose ist vollständig knöchern durchgebaut.

Fall V

G., Josef, 25 Jahre, Betriebswirt.

Der Patient hatte sich bei einem Wanderunfall in den Tiroler Bergen am 14. August 1969 eine links-seitige Tibiakopffraktur zugezogen. Dabei wurde ein Teil des medialen Condylus abgesprengt und mit geringer Stufenbildung im Bereich der Gelenkfläche nach distal disloziert. Zusätzlich bestand ein Riß des lateralen Kollateralbandes und eine Fraktur des Fibulaköpfchens, zum Glück ohne Schädigung des N. fibularis.

Noch am Unfalltag wurde der Patient nach Erstversorgung in Österreich mit einem gespaltenen Oberschenkelgips in die Chirurgische Universitätsklinik München verlegt. Wegen einer kleinen infizierten Schürfwunde im Fraktur-bereich wurde erst nach deren Abheilung am 25. August eine operative Stellung der Fraktur vorgenommen. Dabei wurde das abgerutschte Fragment mit autologer Spongiosa unterfüttert und danach mit zwei Spongiosaschrauben in guter Stellung fixiert. Auf der Abb. V/ 1 (nur Sagittalebene), während der Operation angefertigt, sind die Verhältnisse gut erkennbar.

Die zwei Wochen später gemachten Aufnahmen (Abb. V/ 2a und 2b) zeigen die Fraktur wegen der guten Stellung nur angedeutet. Nach 3 1/2 Wochen fast gleiche Verhältnisse; die feine Aufhellungslinie in der Voraufnahme ist jedoch schon jetzt nicht mehr erkennbar. (Abb. V/ 3a und b)

Die im weiteren Verlauf angefertigten Röntgenaufnahmen ergaben, abgesehen von einer schon nach wenigen Monaten durchgehend trabekulären Zeichnung, keine anderen Gesichtspunkte.

Im April 1970 zeigt sich auf den nach Materialentfernung angefertigten Aufnahmen bis auf die Schraubenlöcher eine völlig unauffällige Knochenstruktur im Bereich der ehemaligen Tibiakopffraktur. Das Kniegelenk war zu dieser Zeit bereits voll funktionsfähig. (Abb. V/ 4a und b)

Fall VI

Z., Rosa, 29 Jahre, Hausfrau.

Im Juli 1969 erlitt die in Portugal lebende deutsche Patientin bei einem Autounfall eine linksseitige Oberarmtrümmerfraktur im distalen Drittel, welche in Portugal mit sieben einzelnen Schrauben fixiert wurde. Wegen starker Schmerzen im Frakturbereich und eingeschränkter Beweglichkeit im Ellbogengelenk kam die Patientin nach Deutschland, wo klinisch und röntgenologisch eine Pseudarthrose festzustellen war. (Abb.VI/ 1) Ende November wurde die Patientin in der Chirurgischen Universitätsklinik München operiert. Nach Freilegung der Pseudarthrose wurden 5 der lockeren Schrauben entfernt, 2 Schrauben wurden aus technischen Gründen belassen. Da eine stabile Osteosynthese wegen der Brüchigkeit der Fragmente nicht in Frage kam, wurden nach Resektion des bindegewebigen Kallus die Bruchenden so gut wie möglich reponiert und autologe Spongiosa in den Bruchspalt eingelagert. Fixation der Bruchenden durch 2 Drahtcerclagen.

Nach Ruhigstellung des Armes im Oberarmgips war die Fraktur schon Ende Januar 1970 weitgehend knöchern konsolidiert. (Abb. VI/ 2)

Im weiteren Verlauf war im Röntgenbild die zunehmende knöcherne Konsolidierung nachweisbar. Die Abb. VI/ 3 zeigt die Fraktur nach 7 Monaten: Völlige knöcherne Heilung der Fraktur bei noch unregelmäßiger Knochendichte.

Fall VII

S., Siegmund, 43 Jahre, Eisenflechter.

Dieser Patient hatte sich am 8. Oktober 1965 bei einem Betriebsunfall beide Unterarme gebrochen. Es bestand links eine offene, rechts eine geschlossene Fraktur, jeweils im mittleren Drittel des Unterarmes. Wegen schlechter Frakturstellung wurde der Patient 5 Wochen später aus einem auswärtigen Krankenhaus nach München verlegt, wo Mitte November die rechtsseitige, drei Wochen später die linksseitige Fraktur mit AO-Platten stabilisiert wurden.

Während die Fraktur rechts ohne Komplikationen ausheilte, kam es auf der anderen Seite zur Plattenlockerung, Bildung einer infizierten Pseudarthrose und einem Brückenkallus.

Ende August 1968 Spongiosaplastik, stabile Osteosynthese mit neuen AO-Platten und Resektion des Brückenkallus.

Die postoperative Wundheilung war ungestört.

Abb. VII/ 1 zeigt die Röntgenaufnahme unmittelbar nach der Operation. (Die seitliche Ebene ist wegen der Überlagerung durch das Osteosynthesematerial hier und in den folgenden Aufnahmen nicht verwertbar.)

Abb. VII/ 2 (10 Tage nach der Operation) zeigt die Spongiosa noch als kleinfleckige Kalkschatten im Pseudarthrosenspalt.

10 Wochen nach der Operation hat der vorher breite Pseudarthrosenspalt, abgesehen von einer ausgesparten Randzone am Radius, die gleiche Dichte wie der angrenzende Knochen. (Abb. VII/ 3)

Abb. VII/ 4, weitere 6 Monate später, zeigt die völlige knöcherne Überbrückung des nicht mehr abgrenzbaren Pseudarthrosenpaltes.

Abb. VII/ 5: Ergebnis nach der Materialentfernung, 15 Monate nach der Operation.

Fall VIII

Dr. B., Hans, 25 Jahre, Zahnarzt.

Bei einem Verkehrsunfall im Oktober 1968 erlitt der Patient eine rechtsseitige Unterschenkelfraktur am Übergang mittleres-distales Drittel. Die Nagelung am gleichen Tag ergab eine nur unzureichende Stellung, ebenso war der Versuch einer ausreichenden Stellungenkorrektur im danach angelegten Oberschenkelgips nicht erfolgreich.

Ende November 1968 wurde deshalb die Fraktur operativ gestellt und Fixation der Stellung durch eine AO-Platte erreicht. Gleichzeitig wurde autologe Spongiosa aus dem Beckenkamm in den Frakturspalt eingelagert.

Die Röntgenaufnahme in Abb. VIII/1 zeigt die Fraktur nach der Operation. (Wegen der nicht ganz sicheren Frakturstabilisierung im Gipsverband.) In der seitlichen Ebene konnte eine geringe Rekurvation intraoperativ nicht vermieden werden, die sagittale Ebene zeigt achsengerechte Stellung.

Schon nach 5 1/2 Wochen zeigt sich trotz Überlagerung durch den Gipsverband deutliche Kallusbildung und Kalk-einlagerung im Bereich des schmalen medialen Bruchspaltes. (Abb. VIII/ 2)

Nach weiteren 4 Wochen ist die Kallusbildung noch deutlicher erkennbar. (Abb. VIII/ 3)

5 Monate nach der Operation ist die Fraktur unter Synostosenbildung zwischen Tibia und Fibula knöchern verheilt. (Abb. VIII/ 4)

Abb. VIII/ 5 zeigt die Fraktur nach 7 Monaten, die Abb. VIII/ 6 1 Jahr später nach Materialentfernung. Funktionelles Ergebnis gut.

DISKUSSION

Bei der Diskussion über den Wert der autologen Spongiosaplastik sind als erstes die Kriterien für den Wert eines Knochentransplantates zu definieren. Dieser muß ganz allgemein daran gemessen werden, wie lange es dauert, bis nach der Überpflanzung wieder eine normale Knochenstruktur im Transplantat und seiner Umgebung zu beobachten ist, da das Ziel eines jeden operativen Eingriffes, wenn möglich, in einer restitutio ad integrum besteht. Um dies zu erreichen, müssen an ein ideales Knochentransplantat folgende Anforderungen gestellt werden:

1. Eigene osteogenetische Potenz des Transplantates.
2. Reizloses Einheilen des Transplantates ohne entzündliche oder andere Abwehrreaktionen des Lagers.
3. Schneller knöcherner Einbau des Transplantates in den umgebenden Knochen.
4. Falls erforderlich, Übernahme mechanischer Funktionen durch das Transplantat.
5. Anregung der Knochenneubildung aus dem Lager zur schnellen Wiederherstellung normaler Verhältnisse.

Durch diese fünf Punkte wird sozusagen der "absolute" Wert eines Transplantates gekennzeichnet. Der "relative" Wert eines Transplantationsmaterials oder eines toten Materials müßte darüberhinaus auch technische Faktoren berücksichtigen. Dazu gehören die leichte Beschaffungs-

möglichkeit der erforderlichen Materialmenge, einfache Lagerung, Einhaltung der Sterilitätsbedingungen bei der Lagerung und so weiter.

Unter Berücksichtigung dieser technischen Gesichtspunkte könnte bei der Beurteilung der verschiedenen Materialien unter Umständen ein biologisch weniger wertvolles Material wegen seiner einfacheren Beschaffbarkeit und Lagerung höher eingestuft werden, als ein, biologisch gesehen, höherwertiges. Die individuelle Einschätzung des relativen und absoluten Wertes bekäme dabei ein so großes Gewicht, daß bei kritischer Betrachtung eine Aussage nicht mehr zu machen wäre. Wegen dieser Überlegung werde ich mich in der Diskussion auf eine Abwägung des theoretischen und klinischen Wertes der autologen Spongiosaplastik beschränken, wobei der relative Wert anderer Methoden nicht berücksichtigt wird.

Wie wir schon im historischen Rückblick gesehen haben, ist über die Frage nach einer eigenen osteogenetischen Potenz der verschiedenen Formen der Transplantation lange Zeit heftig gestritten worden. Die Frage nach der kausalen Osteogenese ist damit untrennbar verbunden.

OLLIER (1867) stellte das Überleben der Transplantatzellen, hauptsächlich durch Vermittlung des Transplantatperiostes, und die von Überlebenden Zellen ausgehende Osteogenese in den Vordergrund.

BARTH (1893) und seine Anhänger hatten dagegen ein völliges Absterben der Transplantatzellen und den schleichenden Ersatz des toten Transplantates durch von Periost und Mark des Lagers neugebildete Knochen-substanz postuliert.

AXHAUSEN (1908) hatte, wie BARTH, das Absterben des Knochens beobachtet, nicht jedoch das Absterben des Transplantatperiostes, welches von ihm als Hauptquelle des Ersatzes der abgestorbenen Knochensubstanz durch lebenden Knochen angesehen wurde.

Das Absterben des transplantierten Knochens hatte auch LEVANDER (1938) behauptet, jedoch glaubte er an eine, die Knochenneubildung induzierende, Substanz, welche aus dem abgestorbenen Knochen freigesetzt würde.

Erst die Untersuchungen AXHAUSEN's (1962) in Verbindung mit den Ergebnissen der Immunbiologie konnten diese Frage endgültig klären. Da ein dauerhaftes Überleben körperfremder Transplantate nicht möglich ist, kann von homologen und heterologen Transplantaten eine Osteogenese nur für einen Zeitraum von 8 bis 10 Tagen erwartet werden, da danach das Transplantat endgültig zugrunde geht. Die theoretischen und praktischen Voraussetzungen für ein dauerhaftes Überleben autologer Knochen sind jedoch gegeben: Da das Transplantat körpereigen ist, kommt es nicht zu einer Abstoßungsreaktion, außerdem konnte die Erhaltung der Zellvitalität und der Wiederanschluß des Transplantates an das Gefäßsystem nachgewiesen werden. (GRAF 1959, GÜNTHER 1969, LARGIADER 1966)

So ist eine eigene, dauerhafte Osteogenese des Transplantates nur bei Autotransplantaten vorstellbar, wobei das bessere Überleben der Spongiosa auf Grund ihrer Struktur und der dadurch schnelleren Revascularisierung einleuchtet.

Die autologe Spongiosa erfüllt also die erste Voraussetzung für ein gutes Transplantationsmaterial optimal.

Die zweite Anforderung, welche an ein gutes Transplantationsmaterial gestellt werden muß, ist die reizlose Einheilung. Heterologe Transplantate kommen auf Grund der immer starken Immunreaktion des Organismus nicht in Frage, bei homologen Transplantaten ist die Immunreaktion sehr wechselhaft (LENTZ 1954), während die autologe Spongiosa immer reizlos einheilt, was bei einem körpereigenen Gewebe nicht verwundert. Auch autologe Späne heilen reizlos ein und können darüberhinaus auch mechanische Aufgaben erfüllen, jedoch sind ihre Überlebenschancen gegenüber der Spongiosa stark beeinträchtigt, wie viele Autoren feststellen konnten. Die gute Einheilung der Spongiosa im infizierten Lager ist eine Eigenschaft der Spongiosa, welche wohl auf der Zugehörigkeit des Knochenmarkes zum reticulo-endothelialen System beruht. Die Spongiosa übernimmt damit nicht nur die Aufgabe der Knochenneubildung aus eigener Kraft, sondern auch die der Infektabwehr, während alle anderen Materialien durch ihr Absterben eine Ausbreitung von Infektionen eher begünstigen. Die autologe Spongiosa erfüllt also auch diese zweite Vorbedingung im Vergleich zu allen anderen Materialien am besten.

Das dritte Kriterium für den Wert eines Transplantates, das des schnellen knöchernen Einbaus, ist durch die ersten beiden Voraussetzungen bis zu einem gewissen Masse durch theoretische Überlegung bereits gegeben, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß dazu ein vollkommen ruhiges Lager Bedingung ist, wie schon LEXER festgestellt hat. Da die Spongiosa auf Grund ihrer Struktur mechanische Aufgaben nicht selbst

Übernehmen kann, muß deshalb im Bedarfsfalle durch geeignete Maßnahmen die Ruhe im Transplantat gewährleistet werden. Dies ist bei mechanisch stabilen anderen Transplantaten nicht erforderlich, da diese in geeigneter Weise tischlormäßig eingepaßt werden können. Der Ersatz des Knochens muß hierbei entweder ganz vom Lager übernommen werden (bei homologen und heterologen Transplantaten) oder ist im Vergleich zur Spongiosa wesentlich langsamer, zum Beispiel beim autologen Span.

Mit der heute gegebenen Möglichkeit der Fragmentstabilisierung durch die stabile Osteosynthese kann der ungestörte Einbau der transplantierten Spongiosa weitgehend gesichert werden, wobei die Zeit des Einbaus verglichen mit anderen Materialien wesentlich verkürzt ist.

Die Übernahme mechanischer Funktionen durch das Transplantat ist bei der autologen Spongiosa nicht gegeben. Sie hat dafür den Vorteil der plastischen Verformbarkeit. Sämtliche anderen Transplantationsmaterialien sind in diesem Punkt der autologen Spongiosa überlegen. In Fällen, in denen eine mechanische Funktion des Transplantates erforderlich ist, ist deshalb ein kortico-spongiöser Span aus dem Deckenkamm, unter Umständen auch ein Tibiaspan vorzuziehen.

Der fünfte Gesichtspunkt, die Anregung der Osteogenese aus dem Lager, sei es durch Induktion im Sinne LEVANDER's, sei es durch Metaplasie oder umdifferenzierung reifer Zellen, wurde von vielen Autoren untersucht. Dabei waren folgende Beobachtungen BURWELL's (1963) von besonderer Bedeutung:

Werden aus einem spongiösen Knochen die zellulären Gewebe entfernt, so sinkt die osteogenetische Kraft dieses Knochens nach Implantation in ein Lager weitgehend ab, während bei Imprägnation von autologer oder homologer, zellfreier Grundsubstanz mit autologem Mark des Empfängertieres die osteogenetische Potenz fast die des frischen autologen Transplantates erreicht. Autologes Mark allein bildet im Vergleich dazu nur in äußerst geringem Ausmaß Knochensubstanz. Werden in einem autologen Transplantat alle zellulären Bestandteile abgetötet, so kommt es zu einer Osteogenese aus dem Lager erst nach 30 Tagen, während das lebende Transplantat schon nach 3 bis 4 Tagen Knochen bildet. Nach AXHAUSEN (1951, 1952, 1962) ist die nach 30 Tagen auftretende Osteogenese als induzierte Osteogenese aufzufassen. Diese tritt sowohl nach lebender als auch nach toter Implantation auf. GOLDBERGER (1961) und ECKE (1967 b) konnten nach subcutaner Verpflanzung von autologen und homologen Knochen in Milliporekammern gelegentlich auch außerhalb der Kammer Knochenneubildung beobachten, was im gleichen Sinne interpretiert werden kann. Nach SCHWEIBERER (1970) ist eine induzierte Osteogenese heute als sicher anzunehmen. Die induzierte Osteogenese wird durch die Grundsubstanz autologer und homologer zellfreier Transplantate bei deren zellulärem Abbau bewirkt. Heterogene Transplantate haben nach Maceration auch ohne hinderliche Antigenreaktionen keinerlei osteogenetische Wirkung. Die Induktion einer Osteogenese ist also nur bei autologen und homologen Knochen gegeben. Dies führt zu der Forderung, zur Auslösung einer induzierten Osteogenese ausschließlich artgleichen Knochen zu verwenden.

Bei Beachtung der anfangs herausgestellten Kriterien für den Wert eines Transplantates hat die autologe Spongiosa unter allen Transplantationsmaterialien nicht nur als einzige eine bleibende osteogenetische Potenz von Anfang an, sie heilt nicht nur als einzige reizlos ein und wird bei ruhigem Lager am schnellsten eingebaut, sondern sie führt auch in der zweiten Phase zur Induktion der Knochenbildung im Lager. Nur Diese wird allerdings auch mit homologen Transplantaten erreicht. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß diese zweite Phase im Vergleich zur ersten nur geringere Bedeutung hat, ist die Entscheidung zugunsten der autologen Spongiosaplastik als hochwertigstes Transplantationsmaterial leicht. Die Einhaltung der Bedingung der Ruhe im Lager ist heute durch die Methoden der stabilen Osteosynthese einfach geworden.

In der autologen Spongiosaplastik steht uns die biologisch wertvollste Methode der Knochentransplantation zu Verfügung. Indikation und Abwägung gegenüber anderen Methoden erfordern nach wie vor die in der Literatur immer wieder geforderte, kritische Betrachtung des Einzelfalles.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die theoretischen Voraussetzungen für die Übertragung autologer Spongiosa und ihre klinische Verwendbarkeit nach der von MATTI empfohlenen Methode anhand der Literatur geprüft und einer kritischen Betrachtung unterzogen. Auf Grund der neueren immunbiologischen Erkenntnisse und der experimentellen Feststellungen über die Überlebensfähigkeit von Knochenzellen bei Ernährung durch alleinige Diffusion wird die theoretische Hochwertigkeit der autologen Spongiosa für die Knochentransplantation festgestellt.

Die praktisch-klinische Hochwertigkeit der autologen Spongiosaplastik als Methode zur Behandlung bestimmter, abgrenzbarer Knochenerkrankungen und ihre Überlegenheit gegenüber körperfremden Materialien wird an der Literatur und an 8 eigenen, typischen Fällen aus der Chirurgischen Universitätsklinik München demonstriert.

LITERATURVERZEICHNIS

ABBOT, L.C., SCHOTTSTAEDT, E.R., SAUNDERS, J.B., BOST, F.C.:
The Evaluation of Cortical and cancellous bone as
Grafting Material. A Clinical and Experimental Study.
J. Bone Jt. Surg. 29-A (1947) 381

ALGIRE, G.H., WEAVER, G.M., PREHN, R.T.:
Growth of cells "in vivo" in diffusion chambers. T.
Survival of homografts in immunized mice.
J. nat. Cancer Inst. 15 (1954) 493

ALLGÖER, M.:
Funktionelle Anpassung des Knochens auf physiologische
und unphysiologische Beanspruchung.
Langenb. Arch. klin. Chir. 319 (1967) 383

ANNERSTEN, S.:
Experimentelle Untersuchungen über die Osteogenese
und die Biochemie des Frakturkallus.
Acta chir. scand. 84 (1940) 60

ANNERSTEN, S.:
Über die Osteogenese bei der Frakturheilung.
Chirurg 13 (1941) 76

AXHAUSEN, G.:
Histologische Untersuchungen über Knochentransplan-
tationen am Menschen.
Dtsch. Z. Chir. 91 (1908) 388

Die pathologisch-anatomischen Grundlagen der Lehre von
der freien Knochentransplantation beim Menschen und
beim Thiere.
Med. Klinik (1908) Beiheft 2, 23

Ueber den Vorgang partieller Sequestrierung trans-
plantierten Knochengewebes nebst neuen histologischen
Untersuchungen über Knochentransplantation am Menschen.
Arch. klin. Chir. 89 (1909) 281

Arbeiten aus dem Gebiete der Knochenpathologie und
Knochenchirurgie.
Arch. klin. Chir. 94 (1911) 241

Zur Technik der Schädelplastik.
Arch. klin. Chir. 107 (1916) 551

AXHAUSEN, W.:
Die histologischen Gesetze der freien Knochenüber-
pflanzung.
Inaug.-Diss. Berlin 1945

- Experimentelle Untersuchungen zur Theorie der
„induzierten“ Knochenneubildung. (Levander)
Langenb. Arch. klin. Chir. 266 (1950) 381
- Zur Knochenneubildung im Muskel nach Injektion
alkoholischer Knochenextrakte.
Zbl. Chir. 76 (1951) 402
- Biologische Grundlagen der freien Knochenüberpflanzung.
Zbl. Chir. 79 (1954) 40
- Die Bedeutung der Individual- und Artspezifität
der Gewebe für die freie Knochenüberpflanzung.
H. Unfallheilk. 72 (1962)
- Die Individual- und Artspezifität des Transplan-
tierten Knochengewebes.
Langenb. Arch. klin. Chir. 306 (1964) 18
- Die chronische Osteomyelitis in der antibiotischen
Ära.
Med. Welt 1966, 230
- Die Behandlung der verzögerten und ausgebliebenen
Knochenbruchheilung mit der freien Knochenüber-
pflanzung.
Langenb. Arch. klin. Chir. 325 (1969) 825
- BARTH, A.:**
Ueber histologische Befunde nach Knochenimplantationen.
Langenb. Arch. klin. Chir. 46 (1893) 409
- Ueber Osteoplastik in chirurgischer Beziehung.
Langenb. Arch. klin. Chir. 48 (1894) 466
- Histologische Untersuchungen über Knochenimplantationen.
Beitr. path. Anat. 17 (1895) 65
- Ueber Osteoplastik.
Chir. Kongr. Verh. 1908, II, 144
- BASCHKIRZEW, N. J., PETROW, N. N.:**
Beiträge zur freien Knochenüberpflanzung.
Dtsch. Z. Chir. 113 (1912) 490
- BAUERMEISTER, A.:**
Zur unterschiedlichen Gewebefreundlichkeit verschie-
dener Knochentransplantate.
Langenb. Arch. klin. Chir. 292 (1959) 828
- BAUM :**
Diskussionsbemerkungen.
Verh. Dtsch. Ges. Chir. 40 (1911) 102

BEDACHT, R.:

Heterologes Kollagen-Implantat im Knochen.
Fortschr. Med. 89 (1971) 60

Knochenbruchbehandlung und Knochenbruchheilung.
Fortschr. Med. 89 (1971) 407

BEDACHT, R., PÖSCHL, M.:

Die chronische Osteomyelitis.
Münchn. med. Wschr. 113 (1971) 524

BENNINGHOFF, A., GOERTTLER, K.:

Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Bd. 1. Verl.
Urban u. Schwarzenberg, München, Berlin 1961

van den BERG, A., SCHWEIBERER, L.:

Diagnose und Therapie der isolierten juvenilen
Knochenzysten.
Z. Kinderchir. 9 (1971) 413

BITTNER, J. J.:

A review of genetic studies on the transplantation
of tumours.
J. Genet. 31 (1935) 471

BÖHLER, J.:

Die Knochenbank des Wiener Unfallkrankenhauses.
Wiener klin. Wschr. 62 (1950) 22

Kritisches zur Behandlung schlecht heilender
Frakturen.

Langenb. Arch. klin. Chir. 298 (1961) 101

BONOME, A.:

Zur Histogenese der Knochenregeneration.
Virch. Arch. path. Anat. 100 (1885) 293

BOELIUS, J.:

Beiträge zur Osteoplastik.
Brunß Beitr. 88 (1914) 214

BORST, M.:

Grafting of normal tissues as dependent on Zoological
or Individual Affinity; Autoplastic, Isoplastic,
Heteroplastic.

17. Internat. med. Kongr. London 1913 (n. LEXER 1924)

v. BRAMANN :

Knochentransplantationen am Menschen.
Chir. Kongr. Verh. (1894) I, 127

BRÜNING, F.:

Freie Knochenüberpflanzung bei Pseudarthrosen und
Knochendefekten.

Beitr. klin. Chir. 116 (1919) 71

BÜRKLE DE LA CAMP, H.:

Anzeigestellung zur Pseudarthrosenbehandlung und Auswahl
des Behandlungsverfahrens.

Zbl. Chir. 80 (1957) 1092

BURWELL, R.G.:

Studies in the Transplantation of Bone. IV.

The Immune Responses of Lymph Nodes Draining Second-
set Homografts of fresh Cancellous Bone.

J. Bone Jt. Surg. 44-B (1962) 688

BURWELL, R.G., GOWLAND, G.:

Studies in the Transplantation of Bone. III.

The Immune Responses of Lymph Nodes Draining
Components of Fresh Homologous Cancellous Bone and
Homologous Bone Treated by Different Methods.

J. Bone Jt. Surg. 44-B (1962) 131

BUSH, L.F., GARBER, L.Z.:

The bone bank.

J. Amer. med. Ass. 137 (1948) 588

CARREL, A.:

The Preservation of Tissues and its Application
in Surgery.

J. Amer. med. Ass. 59 (1912) 523

COTTA, H.:

Ein Beitrag zur Behandlung der Kallusverzögerung und
Pseudarthrosen.

Berlin. Med. 116 (1965) 813-5

Besondere Probleme bei der Pseudarthrosenbehandlung.

H. Unfallheilk. 94 (1968) 63

DAVID, M.:

Ueber histologische Befunde nach Replantation trepanir-
ter Knochenstücke des Schädels.

Arch. klin. Chir. 53 (1896) 740

Nochmals zur Frage der Vitalität replantierter
Knochenstücke.

Arch. klin. Chir. 57 (1896) 533

DEISTER, J., HEINEMANN, G., OSTAPOWICZ, G.:

Die Radikaloperation der chronischen Osteomyelitis.

Brun's Beitr. klin. Chir. 211 (1965) 335

DE JONG, J., van der KEMP, E.:

Experimentelle Untersuchungen über die Autotransplantation von Knochengewebe.
Beitr. path. Anat. 79 (1928) 268

ECKE, H.:

Neue Wege der quantitativen Bestimmung der Regeneration an Knochentransplantaten.
Langenb. Arch. klin. Chir. 319 (1967) 448

FÈVRE, M., JUDET, J., ARVISET, A.:

Graffes osseuses hétérogènes.
Mém. Acad. Chir. 75 (1949) 524 (n. W. AXHAUSEN 1962)

FISCHHOEDER :

Das Schicksal replantierter Knochenstücke vom histologischen Gesichtspunkt aus betrachtet.
Langenb. Arch. klin. Chir. 58 (1899) 840

FLEISCH, H.:

Neue Gesichtspunkte der Kalkablagerung.
Schweiz. med. Wschr. 29 (1961) 858

FORGON, M., BORNEMISZA, G.:

Über die Revascularisierung eines auto- und eines homoioplastischen Spongiosatransplantates im Tierversuch.
Brun's Beitr. klin. Chir. 218 (1970) 277

FRANGENHEIM, P.:

Experimentelle und klinische Erfahrungen über die Arthrodesen durch Knochenbolzung.
Arch. klin. Chir. 90 (1909) 437

Dauererfolge der Osteoplastik im Tierversuch.

Arch. klin. Chir. 93 (1910) 191

FRIEDBOLD, G.:

Grenzen der heteroplastischen Knochentransplantation.
H. Unfallheilk. 87 (1966) 143

FROST, H.M.:

Bone remodelling dynamics.
Springfield, Ill. U.S.A. Ch.C. Thomas 1963
(z.n. SCHWEIBERER 1970)

GENEWEIN, R., MOHR, K.U., RUEFF, F.L.:

Ursachen und Therapie der Pseudarthrosen.
Münchn. med. Wschr. 110 (1968) 845

GÜPFERT, H.:

Die infizierte Schaftpseudarthrose.

H. Unfallheilk. 94 (1968) 31

GRAF, R.:

Gefäßversorgung autoplastischer Spongiosatransplantate und ihre Bedeutung.

Brun's Beitr. klin. Chir. 198 (1959) 390

GREIFENSTEINER, H.:

Die operative Behandlung der Unterschenkelpseudarthrose und Unterschenkelbrüche mit verzögerter Kallusbildung unter besonderer Berücksichtigung der Kompressions-Osteosynthese.

Brun's Beitr. klin. Chir. 187 (1953) 219

GROSS, P.:

Die jugendliche Knochenzyste und ihre Therapie.

Chirurg 33 (1962) 175

GRUNDMANN, G.:

Osteomyelitis-- Bekanntes und Problematisches.

Brun's Beitr. klin. Chir. 203 (1961) 1

GÜNTHER, O.:

Einführung in die Immunbiologie.

Verlag Hippokrates, Stuttgart 1969

GUILLEMINET, M., STAGNARA, P., DUBOST-PERRET, T.:

Greffes osseuses, transplants homogènes et hétérogènes.

Rev. Chir. orthop. 36 (1950) 511 (n. W. AXHAUSEN 1962)

von HABERER, H.:

Knochenplastik bei ostitis fibrosa.

Chir. Kongr. Verh. 1911, I, 97

HAMPERL, H.:

Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie.

24./25. Aufl. Verlag Springer: Berlin- Göttingen-Heidelberg 1960

HANCOX, N. M.:

The survival of transplanted embryonal bone grafted to chorio-allantoic-membran and subsequent osteogenesis.

J. Physiol. (London) 106 (1947) 269

(n. SCHWEIBERER 1970)

HANSLIK, L.:

Indikationen zur Knochentransplantation.

Chirurg 35 (1964) 448

HEIDENHAIN :

"Osteoplastischer Ersatz der Tibiadiaphyse."
Chir. Kongr. Verh. 1908, 39

HEINE, B.:

Über die Wiedererzeugung neuer Knochenmasse und
Bildung neuer Knochen.
Graefes und Walthers Journ. d. Chir. 24 (1836) 513
(n. LEXER 1924)

HELLNER, H.:

Die chirurgische Behandlung der juvenilen Knochen-
zyste mit der Spongiosapломbe.
Chirurg 29 (1958) 97

INOLAN, A.:

The use of preserved bone grafts in orthopedic
surgery.
J. Bone Jt. Surg. 31-A (1942) 83

JAKIMOWITSCH :

Versuche über das Wiederanheilen vollkommen
getrennter Knochensplitter.
Dtsch. Z. Chir. 15 (1881) Heft 3, S.1

JAKSCH, R.:

Zur Frage der Deckung von Knochendefekten des
Schädels nach Trepanation.
Wiener med. Wschr. (1889) III, 1436

KEMBER, N.F.:

Cell division in enchondral ossification.
A study of cell proliferation in rat bones by the
method of tritiated thymidine autoradiography.
J. Bone Jt. Surg. 42-B (1960) 824

KLAPP, R.:

Ueber einen Fall von ausgedehnter Knochentransplantation.
Dtsch. Z. Chir. 54 (1900) 576

KNESE, K.H.:

Cytologische Aspekte der Knochenneubildung.
Internist 7 (1966) 581

KÖNIG, F.:

Ueber das Matti-sche Verfahren der Spongiosaeinpfanzung
bei Knochenbrüchen und Pseudarthrosen.
Münchn. med. Wschr. (1935) 860

KRISTEN, H., SALZER, M.:

Die Behandlung der osteomyelitischen Knochenhöhlen.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 65 (1969) 327

KRÜGER, E., LÖSCH, G.:

Zur Frage der Bedeutung überlebender Zellen in autoplastischen Knochentransplantaten für die Osteogenese.
Langenb. Arch. klin. Chir. 306 (1964) 78

KRUMBIEGEL, R.:

Spongiosaplastik bei chron. Osteomyelitis und benignen Knochentumoren.
Zbl. Chir. 91 (1966) 469

KÜNTSCHER, G.:

Der Heilungsvorgang bei der Pseudarthrose.
Zbl. Chir. 84 (1959) 59

LACROIX, P.:

Organizers and the growth of bone.
J. Bone Jt. Surg. 29-A (1947) 292

LÄWEN, A.:

Zur Histologie des frei transplantierten periostgedeckten Knochens beim Menschen.
Langenb. Arch. klin. Chir. 90 (1909) 469

LARGIADER, F.:

Organtransplantation
Verlag Georg Thieme, Stuttgart: 1966

LAURENT, O.:

Recherches sur la greffe osseuse.
Thèse de Bruxelles 1893 (n. LEXER 1924)

LENTZ, W.:

Der biologische Wert homoioplastischer Knochentransplantate.
Arch. klin. Chir. 279 (1954) 52

Die Grundlagen der Transplantation von fremden Knochengeweben.

Verlag Georg Thieme, Stuttgart: 1955

LEVANDER, G.:

A study of bone regeneration.
Surg., Gynec., Obstet. 67 (1938) 705

Über Knochenregeneration. Formulierung einer Fragestellung vom kausal-osteogenetischen Gesichtspunkt aus.

Klin. Wschr. 20 (1941) 40

LEXER, E.:

Die Verwendung der freien Knochenplastik nebst Versuchen
über Gelenkversteifung und Gelenktransplantation.

Chir. Kongr. Verh. 1908, II, 188

Über freie Transplantationen.

Chir. Kongr. Verh. 1911, II, 386

Freie Fett- und Knochentransplantation in einen
Schädeldefekt.

Münchn. med. Wschr. 1912, 1686

Deckung eines Schädeldefekts aus der Tabula ext.

Münchn. med. Wschr. 1913, 612

Die freien Transplantationen.

Verh.-Ber.: Internat. Chir. Kongr. 1914, New York.

(n. W. AXHAUSEN 1962)

Blutige Vereinigung von Knochenbrüchen. (Kriegs-
chirurgische Mitteilungen aus dem Völkerkriege 1914/15.)

Dtsch. Z. Chir. 133 (1915) 170

Großer Schädeldefekt durch freie Knochentransplantation
gedeckt.

Münchn. med. Wschr. 1916, 978

Ersatz von Unterkieferdefekten und Kinnaufbau.

Dtsch. med. Wschr. 1917, Nr. 32, 1023

Über die Entstehung von Pseudarthrosen nach Frakturen
und nach Knochentransplantation.

Arch. klin. Chir. 119 (1922) 520

Die freien Transplantationen. II. Teil, IX. Abschnitt.

Die Verpflanzung von Knochen, Periost und Mark.

Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart: 1924

LOBENHOFFER, W.:

Beitrag zur Lehre von der freien Osteoplastik.

Brunn's Beitr. 70 (1910) 87

LOEB, L.:

The grafting of tissues into nearly related indi-
viduals in the rat, and the mode of inheritance of
individual-differentials.

J. med. Res. 38 (1918) 353

MAATZ, R.:

Experimentelle Grundlagen der Transplantation
konservierten Knochens.

Langenb. Arch. klin. Chir. 275 (1952) 850

Klinische Erfahrungen mit dem eiweißarmen Tierspan.

Langenb. Arch. klin. Chir. 292 (1959) 831

MAATZ, R., LENTZ, W., GRAF, R.:

Die Knochenbildungsfähigkeit konservierter Späne.
Ein Beitrag zur Knochenbank.
Zbl. Chir. 77 (1952) 1376

MAC EWEN, W.:

The Growth of Bone: Observation on Osteogenesis,
an Experimental Inquiry into the Development and
Reproduction of Diaphysed Bone.
Glasgow: James Maclehose & Sons 1912
(n. W. AXHAUSEN 1960)

MARCHAND, F.:

Zur Kenntnis der Knochentransplantation.
Verh. d. Dtsch. pathol. Ges., München 18.-22. Sept.
1899, Berlin 1900, 368

Der Prozess der Wundheilung mit Einschluß der
Transplantation.
Verlag Ferd. Enke. Deutsche Chirurgie, Bd. 16 (1901)

MATTI, H.:

Über modellierende Osteotomie und Spongiosatrans-
plantation.
Zbl. Chir. 13 (1930) 796

Freie Transplantation von Knochenspongiosa.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 3) (1932) 217

Über die Behandlung von Pseudarthrosen mit der
Spongiosatransplantation.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 31 (1932) 218

Über freie Transplantation von Knochenspongiosa.
Langenb. Arch. klin. Chir. 168 (1932) 236

MAYER, L., WEHNER, E.:

Neue Versuche zur Frage der Bedeutung der einzelnen
Komponenten des Knochengewebes bei der Regeneration
und Transplantation von Knochen.
Arch. klin. Chir. 103 (1914) 732

MEZNIK, F., SLANCAR, P.:

Klinische Ergebnisse auto-, homo- und heterologer
Knochentransplantationen.
Z. Orthop. 105 (1969) 465

MÖLLER, K.:

Über histologische Befunde nach Knochentransplantation.
Inaug.-Diss. Halle 1895 (n. MARCHAND 1899)

OBERDAHLHOFF, H.:

Zur Frage der Knochenneubildung.

Chirurg 17/18 (1947) 123

OLLIER, L.:

Traite expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux. Paris: Masson et Fils 1867 (n. Axhausen 1962)

ORREL, S.:

Studien über Knochenimplantation und Knochenneubildung.

Acta chir. scand. 74 (1934) 31

Principles and experiences at the implantation of os purum, os novum and bone granulate.

Acta orthop. belg. 18 (1952) 162

PANNIKE, A.:

Frakturen des distalen Radiusendes: Klassifizierung und konservative Behandlung.

Vortrag bei der 90. Tagung der Dt. Ges. Chir. München 1973. Kongr.-Ber. Med. Welt 24 (1973) 1674

PASCALE, G.:

Innesti ossei. Risultati sperimentali e ulteriori ricerche istologiche.

Comunicazione al XII. Congr. Chir. Roma Ott. 1897 (n. MARCHAND 1899)

PEER, L. A.:

Cell survival theory versus replacement theory.

Plast. reconstr. Surg. 16 (1955) 161

POPKIROW, S.:

Osteoplastische Auffüllung des Knochendefektes bei der chronischen Osteomyelitis.

Zbl. Chir. 83 (1958) 1779

Die heutige Therapie der Osteomyelitis.

VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin: 1960

Vergleichender Wert des Knochentransplantates in klinischer Sicht.

Zbl. Chir. 87 (1962) 405

Kombinierte Gewebsplastik bei der Behandlung der chronischen Osteomyelitis.

Zbl. Chir. 91 (1966) 40

PROBST, J.:

Erfahrungen mit der Plattenosteosynthese in Verbindung mit der Spongiosaplastik bei Unterarmpeudarthrosen und --fehlstellungen.

H. Unfallheilkunde 87 (1966) 140

PSCHYREMBEL, W.:

Klinisches Wörterbuch mit klinischen Syndromen.
Verlag Walter de Gruyter & Co. Berlin: 1969

RADZIMOWSKI, J.:

Über Replantation und Transplantation der Knochen.
Diss. Kiew 1881 (russisch) z.n. MARCHAND (1899)

RAPOPORT, S.M.:

Medizinische Biochemie. 5. Auflage.
VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin: 1969

REHN, J.:

Die posttraumatische Pseudarthrose, ihre Entstehung und
Therapie.

H. Unfallheilkunde 94 (1968) 5

REHN, J., SCHRAMM, W.:

Die Behandlung der Schienbeinfalschgelenkbildungen
durch Synostosebildung zwischen Schien- und Wadenbein.
Msch. Unfallheilk. 69 (1966) 530

RETTIG, H.:

Probleme bei der Behandlung der chronischen Osteo-
myelitis.

Z. Orthop. 83 (1953) 452

RICHTER, E.:

Die chronische hämatogene und exogene Osteomyelitis.
Brun's Beitr. klin. Chir. 216 (1968) 713

ROTH, H.:

Zur Frage der „bone bank“

Schweiz. med. Wschr. 80 (1950) 345

SALTYKOW, S.:

Über Transplantation zusammengesetzter Teile.
Arch. Entwicklungsmechanik d. Organismen 9 (1900) 329

Zur Histologie der Knochenreplantation.

Verh. Dtsch. pathol. Ges. 13 (1909) 100

Über Replantation lebender Knochen.

Beitr. path. Anat. 45 (1909) 440

SANDER, E.:

Zur modernen Behandlung posttraumatischer Pseud-
arthrosen der langen Röhrenknochen.

Zbl. Chir. 94 (1969) 1316

SALZER, M., WEIPPL, D.:

Die Spongiosaplastik osteomyelitischer Herde.
Verh. Dtsch. orthop. Ges. 51 (1964) 220

SCHADEL, F.:

Zur Behandlung der Osteomyelitis.
Münchn. med. Wschr. 104 (1962) 746

SCHMIDT, R.:

Die Behandlung der gelenknahen Brodieschen Abszess-
höhlen.
Chirurg 23 (1952) 129

SCHENK, R., WILLENEGGER, H.:

Zur Histologie der primären Knochenheilung.
Langenb. Arch. klin. Chir. 308 (1964) 440

SCHINDLER, A.:

Die Behandlung der fistelnden infizierten Defekt-
pseudarthrose mit Plattenosteosynthese und Spongiosa-
plastik.
Brun's Beitr. klin. Chir. 216 (1968) 223

SCHOENE, G.:

Die heteroplastische und homöoplastische Transplantation.
Eigenen Untersuchungen und vergleichende Studien.
Verlag Julius Springer, Berlin: 1912

SCHMITT, A.:

Ueber Osteoplastik in klinischer und experimenteller
Beziehung.
Langenb. Arch. klin. Chir. 45 (1892)(n. LEXER 1924)

SCHRAMM, W.:

Über die kombinierte Anwendung von Osteosynthese und
autoplastischer Spongiosatransplantation bei bestimmten
Pseudarthroseformen.
H. Unfallheilk. 94 (1968) 38

SCHWEIBERER, L.:

Experimentelle Untersuchungen von Knochentransplan-
taten mit unveränderter und mit denaturierter
Knochengrundsubstanz. Ein Beitrag zur kausalen
Osteogenese.
H. Unfallheilk. 103 (1970)

SEGMÜLLER, G.:

Röntgenologische Aspekte der Spongiosaplastik bei
chronischer Osteomyelitis.
Radiol. clin. (Basel) 32 (1963) 549

Spongiosaregeneration in der Milliporekammer.
Helv. chir. acta 34 (1967) 5

SEYDEL :

Eine neue Methode, große Knochendefekte des Schädels
zu decken.
Zbl. Chir. (1889) 209 (z.n. LEXER 1924)

STÄHLI, W.:

Zur Behandlung der Defektpseudarthrose.
Praxis (Bern) 56 (1967) 366 (z.n. Z.Org. Chir.
195 (1967) 307

STIEDA, A.:

Beiträge zur freien Knochenplastik.
Arch. klin. Chir. 94 (1910) 831

Klinisches und Histologisches zur freien Knochen-
transplantation.

Chir. Kongr. Verh. (1911) I, 88

STRINGA, G.:

Studies of the vascularisation of bone grafts.
J. Bone Jt. Surg. 39-B (1957) 395

Behandlung der Vorderarmschaft-Pseudarthrose mit dem
autoplastischen Knochenspan.

H. Unfallheilk. 89 (1966) 94

STUCKEY, L.:

Über die freie Knochentransplantation bei der Pseud-
arthrosenbehandlung.

Brun's Beitr. 80 (1912) 83

THÖRMER, H.J.:

Die zeitgemäße Behandlung der chronischen Osteo-
myelitis unter Berücksichtigung ihrer Anwendung bei
postoperativ entstandenen Zuständen.

Zbl. Chir. 86 (1961) 1142

THÖRMER, H.J., WEBER, K.:

Beitrag zur Behandlung der chron. Osteomyelitis
mit der Spongiosaplastik nach Matti.

Zbl. Chir. 82 (1957) 861

Erfahrungen mit der Spongiosaplastik in der Behand-
lung der chronischen Osteomyelitis.

Langenb. Arch. klin. Chir. 290 (1959) 564

TILMANN :

„Ueber Knochentransplantation nach Unterkiefer-
resektion.“

Chir. Kongr. Verh. 1911, I, 91

TISCHENDORF, F.:

Das Verhalten der Havers-schen Systeme bei Belastung.
Wilh. Roux'Arch. Entw.-Mechanik Org. 145 (1951) 318

TOMASCHIEWSKI, H.K., KRUSE, G.H.:

Unsere Erfahrungen in der Diagnostik und Therapie der multiplen Enchondrome.

Beitr. Orthop. 17 (1970) 32

TOMITA, C.:

Experimentelle Untersuchungen über Knochentransplantation. Virch. Arch. path. Anat. 191 (1908) 80

TONNA, E.A.:

The cellular complement of the skeletal system studied autoradiographically with tritiated thymidine during growth and aging.

J. biophys. biochem. Cytol. 9 (1961) 813

(n. SCHWEIBERER 1970)

TRUETA, J., MORGAN, J.D.:

The vascular contribution to osteogenesis.

I. Studies by the injection method.

J. Bone Jt. Surg. 42-B (1960) 97

TRUETA, J.:

The Role of Vessels in Osteogenesis.

J. Bone Jt. Surg. 45-B (1963) 402

VALAN, A.:

Sull'innesti dell'osso nel cranio. Ricerche sperimentali.

Arch. Sci. med. 22 (1898) 342 (N. MARCHAND 1899)

VALLS, J.:

Riesenzelltumoren der Knochen.

Rev. Orthop. Traumat. (Arg.) 13 (1968) 1

ref. in Z. Orthop. 105 (1968/69) 447

van den BERG, A., SCHWEIBERER, L.:

Diagnose und Therapie der isolierten Juvenilen Knochenzysten.

Z. Kinderchir. 9 (1971) 413

VITALLI, H.P.:

Die biologischen Grundlagen der Knochentransplantation.

Z. Orthop. 99 (1965) 146

Unterschiede der Einheilung von Knochen bei sofortiger und verzögerter Transplantation.

Langenb. Arch. klin. Chir. 316 (1966) 926

WAGNER, H.:

Korrektureingriffe nach Verletzungen des distalen Radiusendes und der Handwurzel.

Vortrag bei der 90. Tagung der Dtsch. Ges. Chir. München .Kongr.-Ber. Med. Welt 24 (1973) 1674

WALCHER, K.:

Hat die Behandlung der Kallusverzögerung und Pseudarthrose am Unterschenkel mit der Spananlagerung nach Phemister heute noch ihre Berechtigung?

Arch. orthop. Unfall-Chir. 66 (1969) 226

WEAVER, J.B.:

Experiences in the use of homogenous (bone bank) bone. J. Bone Jt. Surg. 31-A (1949) 778

WELLER, S.:

Behandlungsprinzipien von Pseudarthrosen. Chirurg 38 (1967) 445

Zur Behandlung von Pseudarthrosen im Bereich der oberen Extremität.

H. Unfallheilk. 94 (1968) 54

Die Bedeutung der stabilen Osteosynthese bei der Behandlung von Pseudarthrosen.

Langenb. Arch. 325 (1969) 815

WILHELM, K., RUEFF, F.L.:

Die operative Behandlung von Unterarmschaftfrakturen.

Arch. orthop. Unfall-Chir. 70 (1971) 215

WILLENEGGER, H.:

Klinik und Therapie der pyogenen Knocheninfektion. Chirurg 41 (1970) 215

WILLESTÄDT, H., LEVANDER, G., HULT, L.:

Studies in Osteogenesis.

Acta orthop. scand. 19 (1950) 419

WILSON, P.D.:

Experiences with the use of refrigerated homogenous bone.

J. Bone Jt. Surg. 33-B (1951) 301

WOLFF, J.:

Die osteoplastik in ihren Beziehungen zur Chirurgie und Physiologie.

Langenb. Arch. klin. Chir. 4 (1863) 183

YOUNG, R.W.:

Cell proliferation and specialization during
enchondral osteogenesis in young rats.

J. Cell. Biol. 14 (1962) 357

ZACHARIAS, J., POPP, W.:

Beitrag zum Problem der Behandlung der chronischen
Osteomyelitis.

Zbl. Chir. 88 (1963) 1982

ZENKER, R.:

Zur Behandlung von Pseudarthrosen besonders nach
Schußverletzung.

Chirurg 16/17 (1947) 339

Zur operativen Behandlung traumatischer Pseud-
arthrosen.

Dtsch. med. Wschr. 31/32 (1947) 439

L E B E N S L A U F

VOLKER GLAWAR, geb. 28.12.43 in Bleiburg / Kärnten.
 Eltern Dr.med. Erwin GLAWAR und Dr.med.dent. Marga
 GLAWAR, geb. Fiene.

SCHUL - und HOCHSCHULBILDUNG:

1949 - 1953 Volksschule Oberhausen

1954 - 1963 Staatl. Gymnasium Oberhausen

SS 63 - SS 64 Studium der Medizin Univ. KÖLN

WS 64 - WS 65 " " " Univ. FREIBURG

SS 66 " " " Univ. WIEN

WS 66 - WS 68 " " " Univ. MÜNCHEN

PRÜFUNGEN:

8.3.1963 ABITUR (mit Auszeichnung)

18.4.64 VORPHYSIKUM (Note: sehr gut)

28.10.69 PHYSIKUM (Note: sehr gut)

21.2.69 STAATSEXAMEN (Note: sehr gut)

TÄTIGKEITEN:

1.4.69 - 30.9.69 Medizinalassistent an der
 Chir. Univ.-Klinik München

1.11.69 - 30.4.70 Medizinalassistent an der
 I.Med. Univ.-Klinik München

7. Juli 1970 APPROBATION

1.9.70 - 30.4.73 Assistenzarzt an der Chir. Abteilung
 des Kreiskrankenhauses München-Perlach

Ab Mai 1973: Mehrmonatige USA - Reise, Arzt-
 vertretungen, Fertigstellung der
 Dissertation.

B I L D A N H A N G

Zur besseren Beurteilbarkeit der lokalen Verhältnisse wurden , abgesehen von Fall VIII, alle Röntgenbilder im Kontaktabzugsverfahren und in Originalgröße abgebildet. Leider haben die Abbildungen selbst in diesem Maßstab einen erheblich geringeren Detailreichtum gegenüber den Originalaufnahmen. Dies liegt an dem im Vergleich zum Röntgenbild wesentlich kleineren Gradationsumfang des Papierbildes.

Abb. I/1





Abb. I/2

Abb. I/3

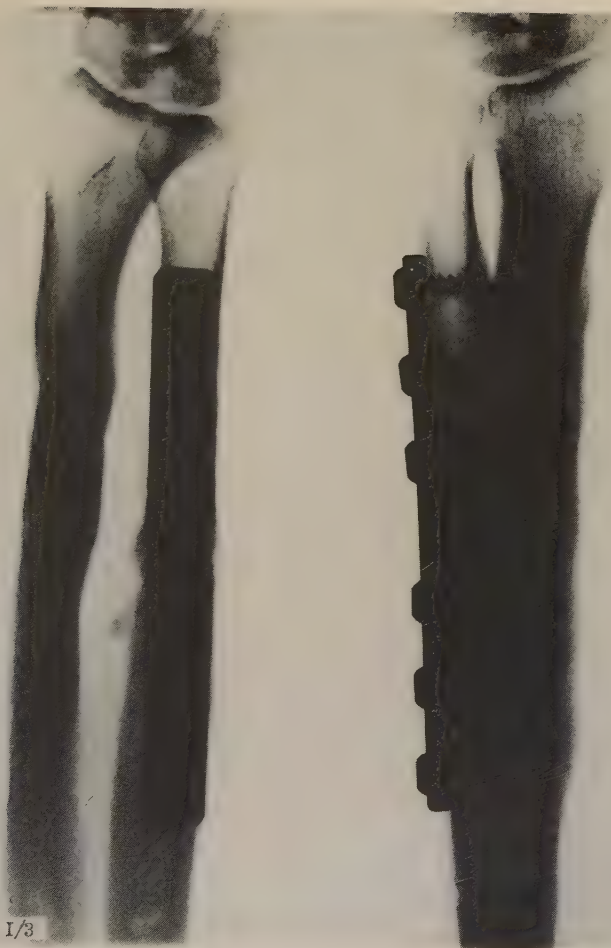




Abb. I/4



Abb. I/5



Abb. II/1

Abb. II/2





Abb. II/3

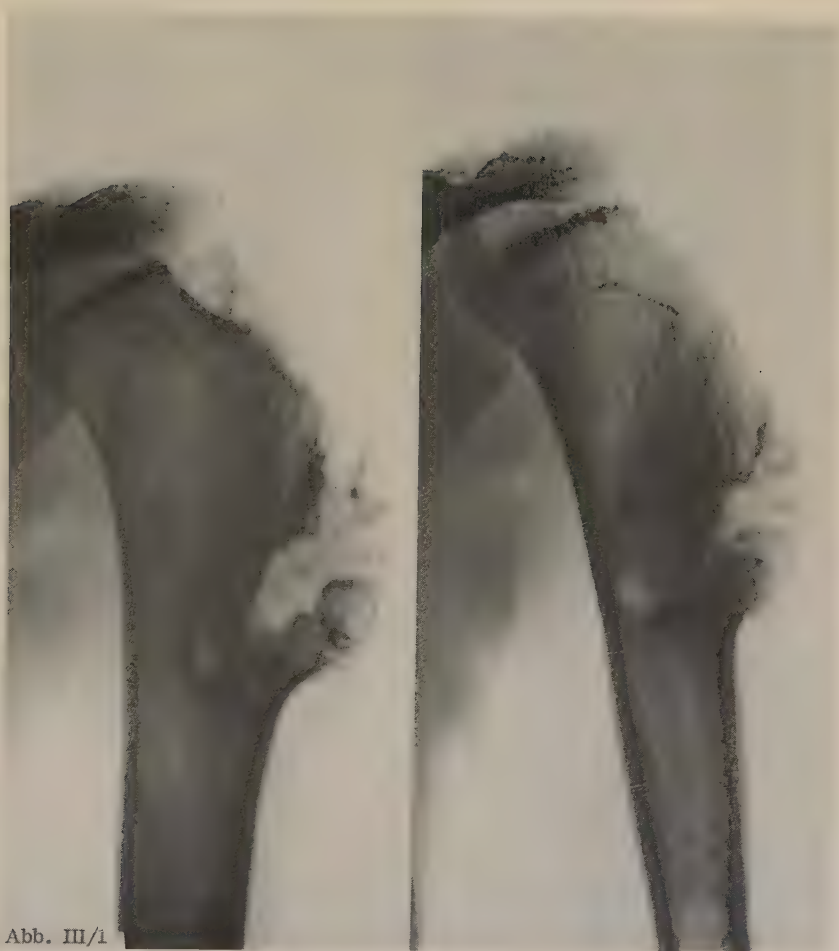


Abb. III/1



Abb. III/2



Abb. III/3





Abb. III/5



Abb. IV/1



Abb. IV/2



Abb. IV/3

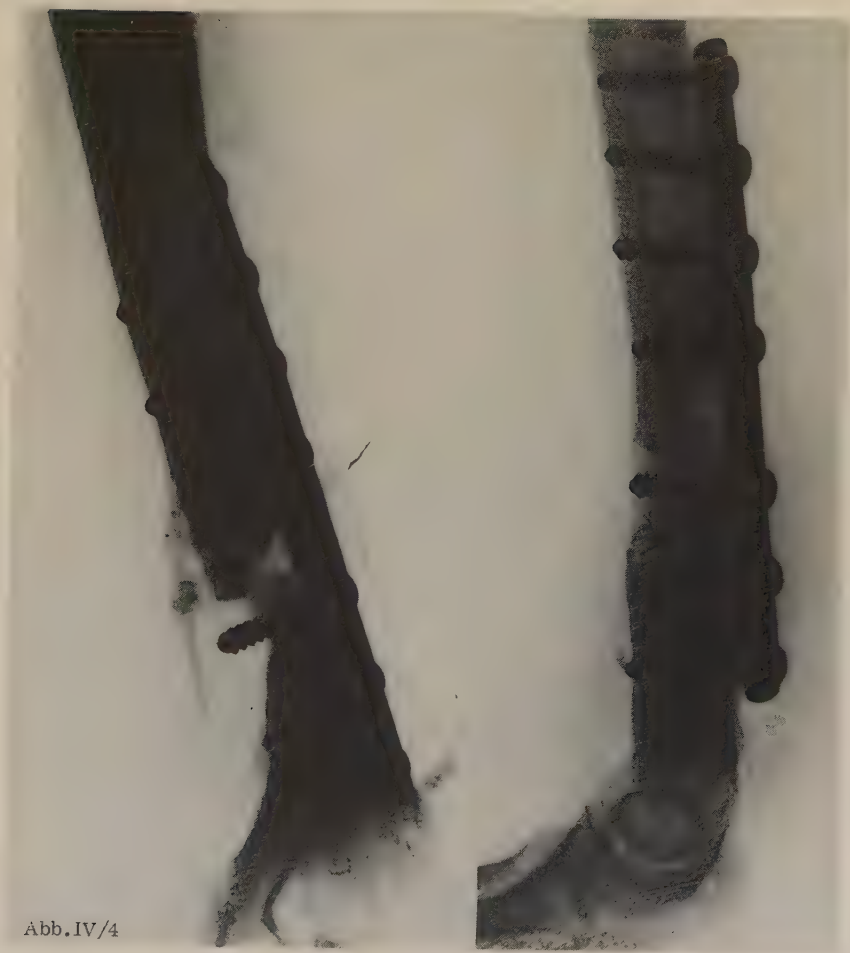
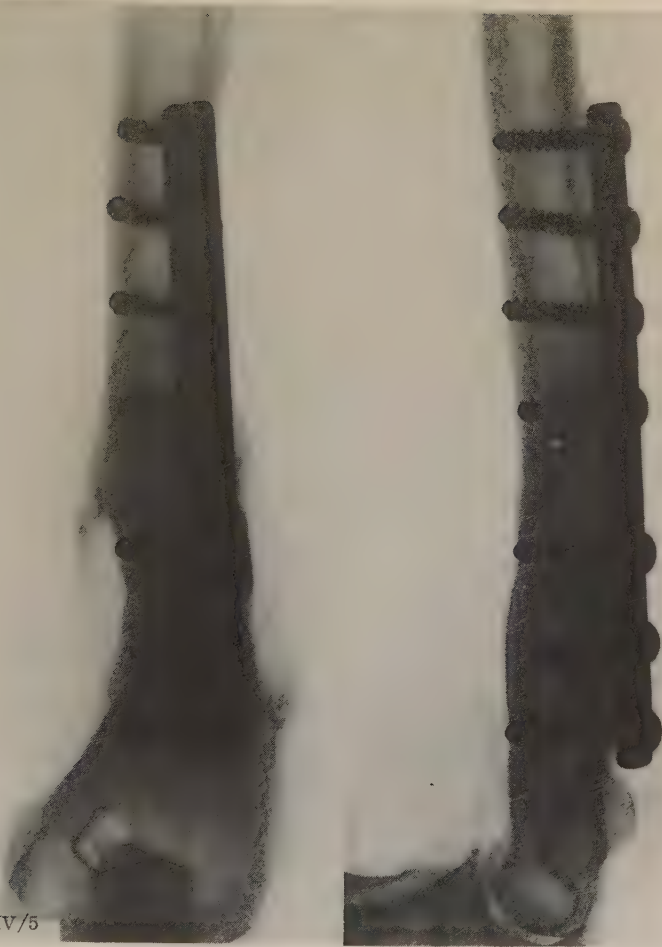


Abb. IV/4

Abb. IV/5





Abb, V/1



Abb. V/2a



Abb. V/2b



Abb. V/3a



Abb. V/3b



Abb.V/4a



Abb. V/4b



Abb. VI/1

5

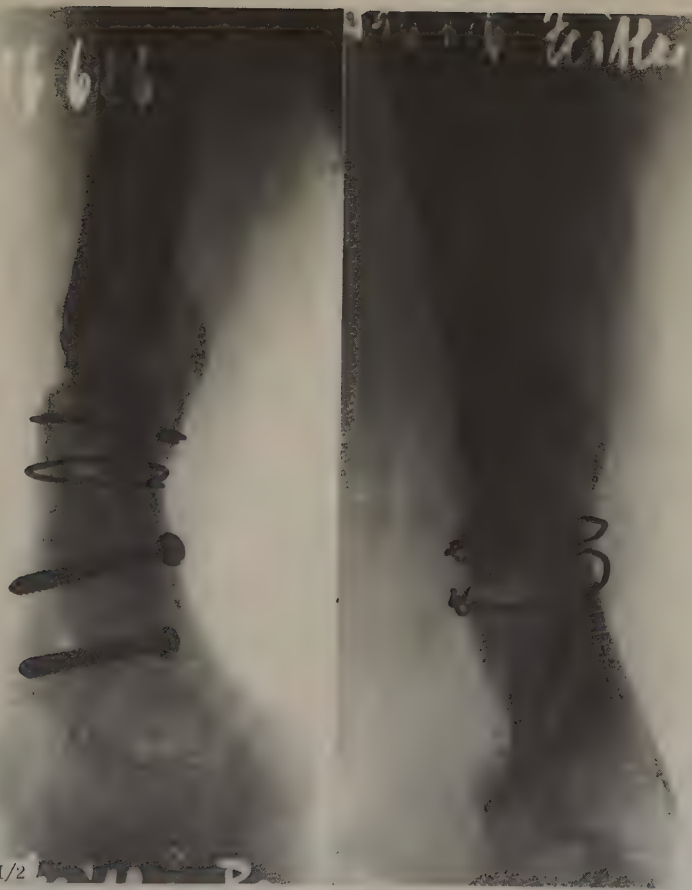


Abb. VI/2



Abb. VI/3



Abb. VII/1

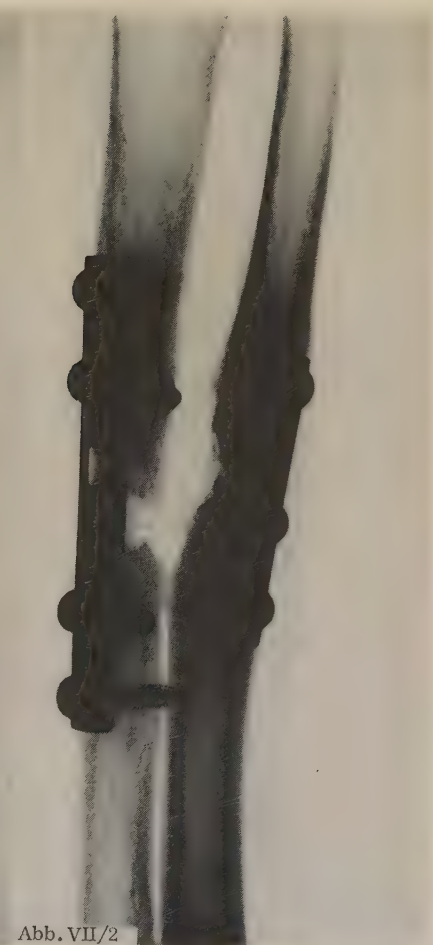


Abb. VII/2



Abb. VII/3

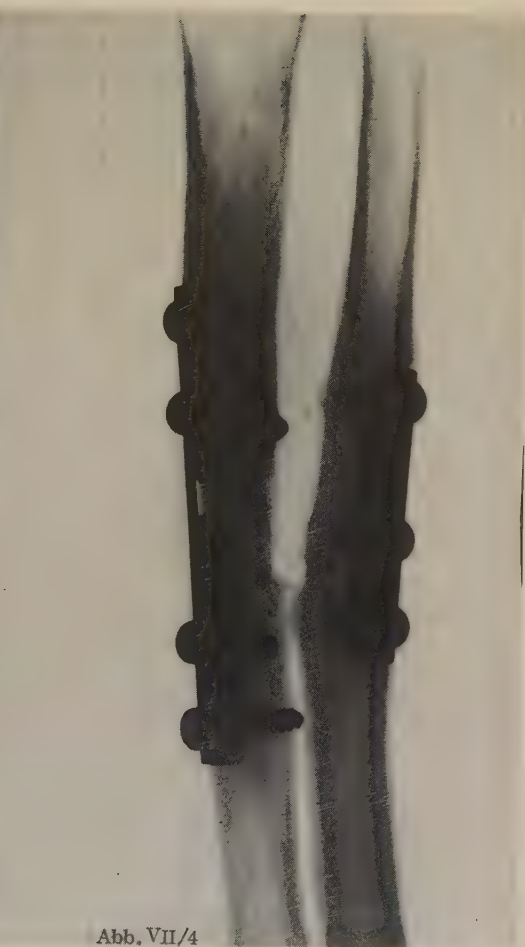


Abb. VII/4



Abb.VII/5

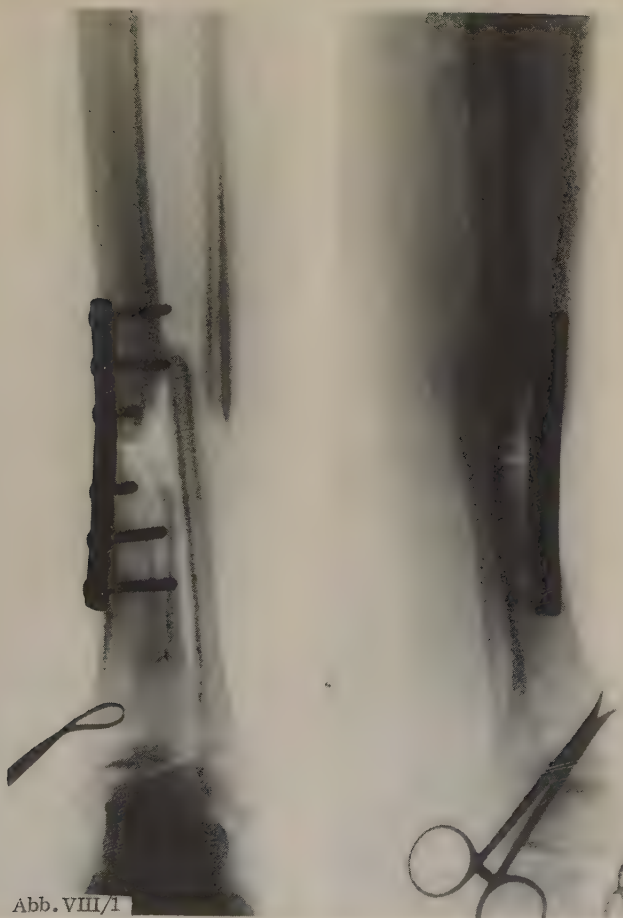


Abb. VIII/1



Abb. VII/2



Abb. VIII/3



Abb. VIII/4

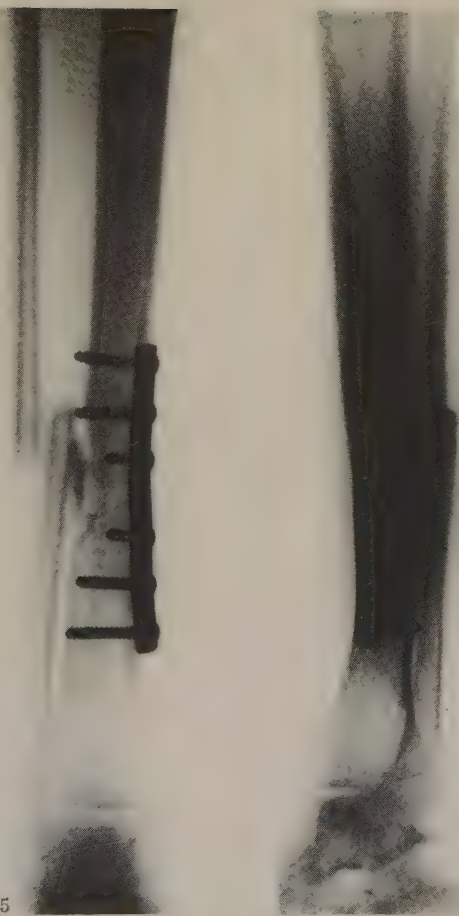


Abb. VIII/5

Abb. VIII/6

R

